

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební  
Katedra betonových a zděných konstrukcí



## **Bakalářská práce**

Návrh zastřešení sportovní haly

Vypracoval: Tomáš Hozman  
Studijní program - **STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ**  
Studijní obor - **Konstrukce pozemních staveb**

Vedoucí práce: Ing. Martin Tipka Ph.D.

Praha 2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Hozman Jméno: Tomáš Osobní číslo: 468283Zadávající katedra: K133 - Katedra betonových a zděných konstrukcíStudijní program: Stavební inženýrstvíStudijní obor: Konstrukce pozemních staveb

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Návrh zastřešení sportovní halyNázev bakalářské práce anglicky: Design of the sports hall roof structure

Pokyny pro vypracování:

Možnosti zastřešení sportovních objektů menšího rozsahu - analýza konkrétních konstrukčních uspořádání, jejich výhody a nevýhody.

Betonové varianty konstrukčního uspořádání sportovních hal - problematika návrhu a technologie výstavby.

Variantní návrh zastřešení vybrané školní tělocvičny.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 1990, ČSN EN 1991, ČSN EN 1992

Kohoutková, Procházka, Šmejkal: Modelování a vyztužování betonových prvků. Lokální modely železobetonových konstrukcí. ČVUT 2013.

Procházka, Šmejkal: Betonové vícepodlažní a halové konstrukce. ČVUT 2018

Archiv časopisu Beton TKS

Další vhodná samostatně vyhledaná literatura

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Martin Tipka, Ph.D.Datum zadání bakalářské práce: 12.2.2020Termín odevzdání bakalářské práce: 17.5.2020*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucího práce\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

12.2.2020\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání\_\_\_\_\_  
Podpis studenta(ky)

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Praze dne 17. května 2020

.....  
Tomáš Hozman

**Abstrakt:**

Bakalářská práce představuje a porovnává často používané konstrukční typy sportovních hal a tělocvičen. Snahou je představit jak haly a sportoviště v České republice, tak i v zahraničí. Objekty jsou rozděleny podle materiálu nosné konstrukce a principu přenosu zatížení. Cílem je co nejvíce přiblížit problematiku navrhování a použití betonových konstrukčních typů, shrnout jejich výhody a nevýhody.. Pro variantu s předpínanými betonovými vazníky práce více prohlubuje téma předpětí. Problematika je věnována i volbě okrajových podmínek a požadavkům, které se pro dané konstrukce musí při návrhu řešit. V praktické části práce je zpracován návrh tří různých konstrukčních zastřešení vybrané sportovní tělocvičny.

Klíčová slova: sportovní hala, konstrukce, železobeton, předpjatý beton, vazník

**Abstract:**

The bachelor thesis aims to present and compare often used structural types of a sports halls and gyms. Effort is placed to introduce sports halls both in Czech Republic and in abroad. Structural types are separated by material of load bearing structure and by transmission of load. Comparison of materials is focused mainly on concrete structural types. The advantages and disadvantages of a sports hall are summarized. Thesis is more accurate in terms of prestressed concrete beams. Requirements and edge conditions to solve are included. In practical part is perform a design of the three halls roofs structures.

Key word: sports hall, structure, reinforced concrete, prestressed concrete, truss

### **Poděkování:**

Děkuji všem za jejich cenné rady a připomínky, které mi pomohly při vypracování této práce. Rád bych také poděkoval panu Ing. Martinu Típkovi Ph.D. za veškeré rady, za trpělivost a ochotu, díky kterým jsem tuto práci mohl dokončit. V neposlední řadě děkuji celé své rodině, která mi poskytla morální podporu v době zpracování práce.

V Praze dne 17. května 2020

.....  
Tomáš Hozman

# Obsah

1	Úvod.....	3
2	Konstrukce sportovních hal .....	5
2.1	Haly s příhradovými vazníky .....	5
2.1.1	Styčníky příhradových betonových konstrukcí .....	7
2.1.2	Působení diagonál .....	7
2.2	Obloukové konstrukce .....	9
2.2.1	Příhradové obloukové konstrukce .....	10
2.2.2	Plnostěnný oblouk.....	12
2.3	Rámové konstrukce .....	15
2.4	Vazníkové a deskové konstrukce .....	18
3	Předpjatý beton .....	21
3.1	Technologie a výroba předpjatých betonových prvků střešních konstrukcí....	22
3.1.1	Předem předpjaté prvky .....	22
3.1.2	Eliminace účinků předpětí v blízkosti podpor .....	24
3.1.3	Dodatečně předpjaté prvky .....	26
3.1.4	Kotvení.....	26
3.2	Ztráty předpětí .....	27
3.2.1	Ztráty okamžité (krátkodobé) .....	27
3.2.2	Ztráty dlouhodobé.....	29
4	Okrajové podmínky návrhu konstrukcí betonových hal.....	30
4.1	Styky .....	30
4.2	Střešní plášť .....	32
4.3	Dočasné návrhové situace .....	32
4.4	D-oblasti.....	34
5	Konstrukční řešení zastřešení sportovní haly .....	36
5.1	Představení základního konstrukčního systému.....	36
5.2	Konstrukční řešení - Vazník s vaznicemi.....	37
5.2.1	Vaznice .....	39
5.2.2	Vazník.....	40
5.2.3	Sloup .....	42
5.3	Konstrukční řešení - Deskový vazník .....	42
5.3.1	Deskový vazník.....	44
5.3.2	Průvlak.....	45
5.3.3	Sloup .....	45

5.4	Konstrukční řešení - TT panely.....	46
5.4.1	TT panel.....	47
5.4.2	Průvlak.....	48
6	Závěr.....	49

## Seznam příloh

### P.1. Statický výpočet

1. Výkres prefabrikátu - Předpjatý vazník (Var.1)
2. Výkres prefabrikátu - Vaznice (Var.1)
3. Výkres prefabrikátu - Sloup s vidlicí (Var.1)
4. Výkres prefabrikátu - Předpjatý deskový vazník (Var.2)
5. Výkres prefabrikátu - Průvlak (Var.2)
6. Výkres prefabrikátu - Sloup s konzolou (Var.2)
7. Výkres prefabrikátu - Předpjatý TT panel (Var.3)
8. Výkres prefabrikátu - Průvlak s ozubem (Var.3)

# 1 Úvod

Při projektování či návrhu nosné konstrukce sportovního objektu, tělocvičny, se snažíme o co největší uvolnění prostoru. U těchto typů staveb se jedná především o návrh velkorozponové střešní konstrukce a svislých nosných konstrukcí, které jsou umístěny ideálně pouze po obvodu. Cílem je omezení počtu vnitřních svislých podpor. Šířky obvyklých tělocvičen se většinou odvíjejí od normových požadavků, jak na samotné konstrukce tělocvičen, tak na půdorysné rozměry hřišť pro různé typy sportů (basketbal, volejbal, tenis, házená a jiné). Pokud se ohlédneme zpět na dřívější realizace, můžeme udělat určitý souhrn a analýzu. Jedná se především o vhodnou volbu materiálu a typu konstrukčního řešení. Snaha je zaměřit se především na betonové konstrukce. Práce se proto nezabývá řešením konstrukcí visutých a zavěšených a ani konstrukcí z plastů, tkanin a fólií. Tyto konstrukce nejsou zcela běžné, nebo představují konstrukce dočasné.

Při návrhu pozemních konstrukcí různých typů tělocvičen a sportovních zařízení se v počátečních fázích přípravy neklade důraz pouze na ekonomicky efektivní řešení, ale také na estetičnost, působení na člověka a dobrý první dojem. Důležitým měřítkem je i bezpečnost. Většinou je estetika a působení na člověka v rukou architekta. Nicméně i projektant nosných konstrukcí by měl mít o těchto vlivech určitý pojem. V této úvodní části se pokusím analyzovat nejčastěji prováděné konstrukce tělocvičen a poukázat na jejich efektivitu v různém ohledu.

Při srovnání určitých technologických, estetických a cenově přijatelných řešení je možné vidět především zastoupení a využití materiálů oceli a dřeva, případně jejich spojení. Mezi jejich největší přednosti patří lehkost, snadnost spojování, doprava na místo stavby, subtilita, ekologické působení, možnost estetického ztvárnění, variabilita, vysoká únosnost a nízká cena. Díky tomu právě většina projektantů při prvotní studii volí právě tyto materiály. Použití betonu jako nosné varianty není v tomto případě příliš běžné, v Čechách najdeme občasné případy, ve světě je již variabilita větší a betonové konstrukce se postupně uplatňují v různých případech. Hlavním faktorem je především cena a sní související pracnost.

Volba materiálu je sice jedna z hlavních částí řešení, ale pro konečný návrh a potřebu projektanta je potřeba znát i statické působení dané konstrukce. V České republice je podle mého mínění zatím hlavním faktorem většinou cena před estetikou a kvůli tomu



nejsou tyto konstrukce ještě tolik „odvážné“. Nicméně při pohlednutí do zahraničí můžeme nalézt několik, z mého pohledu, „úchvatných“ konstrukcí. Z těchto důvodů je při analýze potřeba zaměřit se nejen na obyčejné, ač v jiných ohledech velmi efektivní konstrukce, ale také na konstrukce neobyčejné.

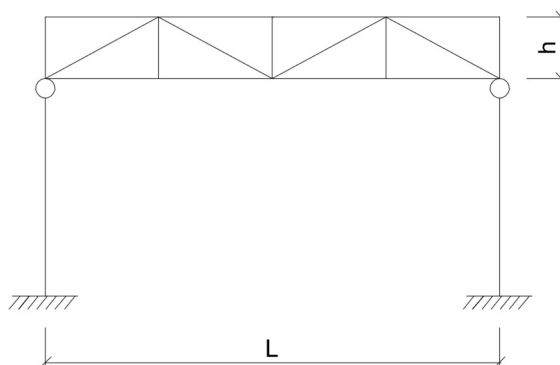
Statické působení má hlavní vliv na návrh celé konstrukce. Nejedná se jenom o působení účinků zatížení, ale také o koncentraci hmoty nosné konstrukce pro každý systém specifickou. Další z částí je problematika okrajových podmínek, volba ztužující konstrukce a jejich vhodné řešení. Při analýze jednotlivých objektů je proto ukázáno nejen na střešní nosnou konstrukci, ale i na správné stanovení okrajových podmínek celé konstrukce a systém ztužení.

Prezentováno bude několik typů konstrukčních systémů, především z hlediska statického řešení, následně u každého typu budou uvedeny možné způsoby provedení v materiálových variantách a jejich příklady, jak v České republice, tak po celém světě. Snaha bude o shrnutí pozitiv i negativ, se kterými se při provedení v betonové variantě můžeme setkat.

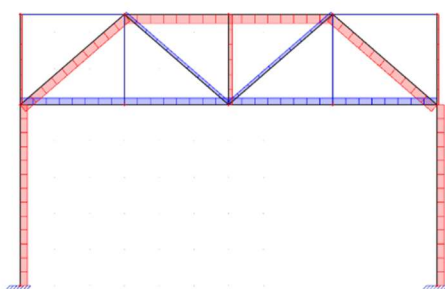
## 2 Konstrukce sportovních hal

### 2.1 Haly s příhradovými vazníky

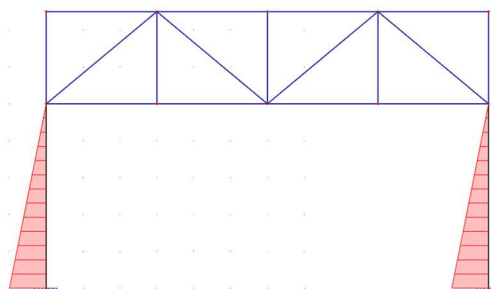
U sportovních hal jsou v hojném počtu používány příhradové vazníky kombinací s lehkým střešním pláštěm a diagonálním ztužením pomocí ocelových lan, úhelníků či trubek. Ze statického schématu příhradového nosníku (Obr. 2) lze odvodit hlavní funkce jednotlivých prvků. Výškou příhradoviny zároveň ovlivňujeme únosnost na větší rozpon. Typická rozpětí jsou mezi šesti až čtyřiceti metry podle typu provozu. Tento typ se výhodně uplatňuje především v ocelové a dřevěné variantě z důvodu lehkosti a jednoduchosti spojování. Nalézt můžeme i pokusy o vytváření betonových příhradových vazníků.



Obr. 1 - Statické schéma příhradové konstrukce



Obr. 2 - Normálové síly od stálého zatížení:  
červeně – tlak, modře - tah



Obr. 3 – Ohybové momenty od zatížení  
větrem

Jako příklad zastřešení pomocí příhradových vazníků lze uvést ocelovou sportovní halu Radotín či dřevěnou halu Chodov.



Obr. 4 - Hala Radotín [18]



Obr. 5 - Hala Chodov [19]

Díky malému procentu použitého materiálu u oceli a nízké objemové hmotnosti u dřeva bylo možné tyto konstrukce navrhnout na poměrně velké rozpětí. Pro představu je uvedena tabulka ukazující poměr mezi hmotností a pevností při únosnosti tlačeního prvku. Tabulka se snaží ukázat především potenciál jednotlivých materiálů. Dalším faktorem by mohla být cena a zároveň i zohlednění jiného typu namáhání, například namáhání ohybové.

Tabulka 1 - Poměr hmotnost/únosnost

Materiál	Obvyklá návrhová pevnost v tlaku	Hmotnost 0,4x0,4x1 m	Únosnost průřezu	Poměr hmotnost/únosnost
Beton	16,6 MPa	400 kg	2650 kN	6,62
Ocel	435 MPa	1256 kg	69600 kN	55,4
Dřevo	14,5 MPa	96 kg	2320 kN	24,2



Obr. 6 - Sklad v Sharjah, UAE [20]



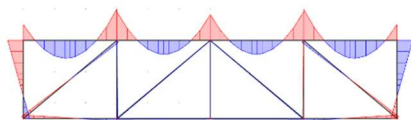
Obr. 7 - Zatěžovací zkouška nosníku [20]

U betonové příhradové konstrukce je potřeba vyřešit několik důležitých vlivů, které použití a návrh komplikují. Především spojení ve styčnicku, umístění vylehčení, předpínání. V následujícím případě i sepnutí. Jako příklad je uvedena hala ze spojených arabských emirátů (Obr. 6). Z důvodu netradičního konstrukčního typu (příhradový předpjatý vazník) bylo zároveň vyrobeno zkušební těleso, u kterého byla provedena analýza chování pomocí zatěžovací zkoušky (Obr. 7). Jedná se o možnost, kde na méně

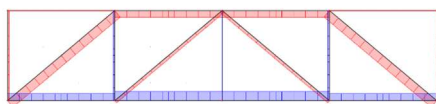
rozměrném modelu v určitém měřítku simulujeme chování skutečné konstrukce. Výsledná nosná konstrukce střechy je vytvořena z předpjatých sepnutých betonových příhradových vazníků. Díky předpětí horního, dolního pásu a zároveň vylehčení příhradou bylo možné vytvořit rozpětí až udávaných 106 ft., tedy přibližně 48 m. Tato konstrukce zároveň přesahuje běžné předpoklady možného rozpětí, které je pro příhradové betonové konstrukce 6 – 40 m. Podle stavební firmy, která konstrukci montovala, bylo dosaženo až 25% celkových úspor oproti použití ocelové varianty [20]. Nejdůležitější požadavky, které je nutné pro příhradové předpjeté vazníky zohlednit, jsou řešeny v následujících podkapitolách.

### 2.1.1 Styčníky příhradových betonových konstrukcí

Díky počátečním tuhostem betonových vyztužených styčniců dochází v diagonálách i k přenášení momentů (Obr. 8). Toto specifikum je potřeba zohlednit při volbě vhodného modelu, kde můžeme, nebo nemusíme uvažovat s působením ohybových momentů. Obecně se u příhradových konstrukcí setkáváme jen s působením osových sil. Podle (Obr. 10) je možné vidět porušení a plastické přetvoření s vytvořením kloubu v daných místech. Z obrázků (Obr. 8, Obr. 9) se dá odvodit pár problémů, které se mohly řešit při použití tohoto typu konstrukce. Vylehčení, které snižuje vlastní tíhu konstrukce bylo provedeno především ve středu vazníku, důvodem bylo snížení maximálního momentu od zatížení. U podpor se z hlediska velké smykové síly a kotevních oblastí nevylehčovalo. Podle (Obr. 8) mohl hrát vliv větších momentů v diagonálách.



Obr. 8 - Ohybové momenty od stálého rovnoměrného zatížení



Obr. 9 - Průběh normálových sil

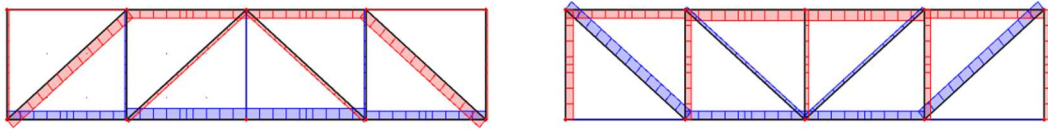


Obr. 10 - Porušení a plastizace kloubů [20]

### 2.1.2 Působení diagonál

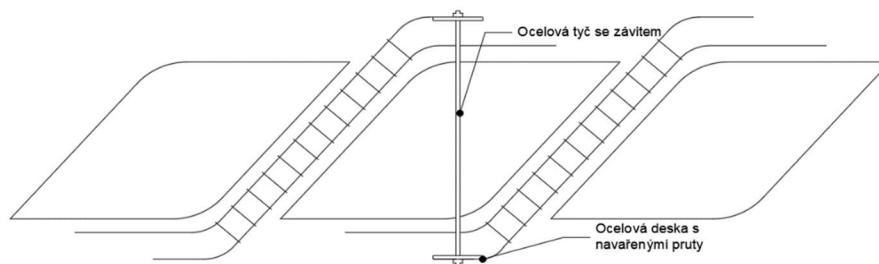
Při různých zatěžovacích stavech každá směrově jiná diagonála vykazuje jiné působení. Obecně lze ukázat, že namáhání diagonál je dáno směrem jejich natočení. Pokud jsou diagonály směrově orientované jako visutá konstrukce – působí tahy, pokud diagonály

směrově orientované jako tlačný oblouk – působí tlaky). Natočením diagonál tedy výrazně ovlivňujeme jejich namáhání. Na (Obr. 7) lze vidět při zkoušce variantu, kde tažené svislé diagonály byly provedeny pouze z ocelových táhel. Při konečné montáži (Obr. 6), je možné vidět, že působení a směr jsou opačné a tlačená je svislice.

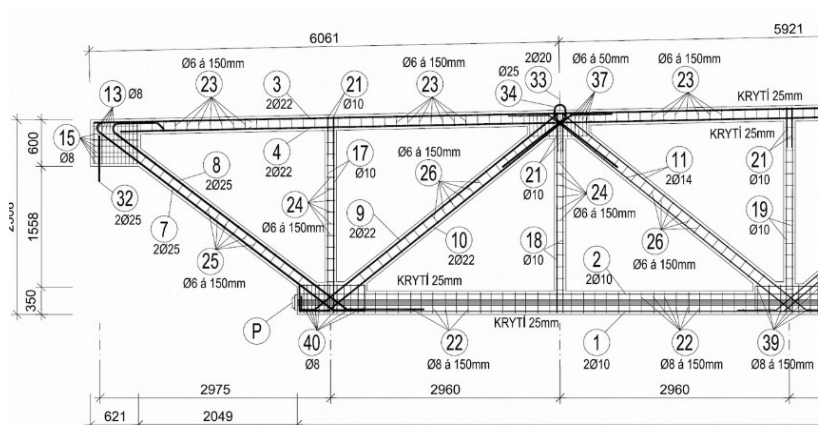


Obr. 11 - Znárodnění působení diagonál při určitém směru  
červeně – tlak, modře - tah

Mohlo by se zdát, že při zatěžování (pokud jsou diagonály tvořeny z betonu) je varianta (Obr. 11.B) horší z hlediska většího tahové působení diagonál. Je nutno si nicméně uvědomit, že tyto vazníky jsou zároveň i předpínané. Hraje tedy roli, na jaké předpínací síly napneme lana v horním a dolním pásu. V rámci osvětlení problematiky u vyztužení je ukázáno možné řešení jedné z diagonály.



Obr. 12 - Schéma vyztužení diagonály



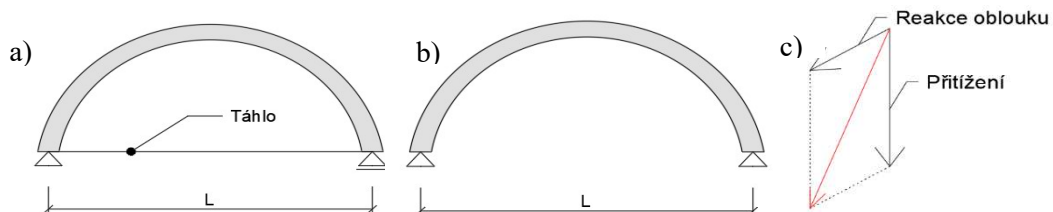
Obr. 13 - Schéma vyztužení [14]

## Styk dílců

Pokud spojujeme vazník z více dílců, jedná se o tzv. „Spínané vazníky“. V tomto případě (Obr. 6) šlo o dva dílce délky 24 m. sepnuté uprostřed rozpětí. U styku je nutné dát velký pozor na jeho řešení, především z hlediska bezpečnosti a varování konstrukce před kolapsem. Důmyslně bylo provedeno spojení pomocí dodatečného předpětí a zmonolitnění. Jako nevýhoda může být vnímána nutnost stavby lešení pro podepření prvků a důsledná přesnost při provádění spínacího styku z důvodu předpínání a správného sklonu vazníků. Obdobu spínání jednotlivých dílců lze nalézt především u mostních konstrukcí.

## 2.2 Obloukové konstrukce

Tento typ zastřešení lze použít nejen na sportovní haly, ale i na velké hangárové objekty či výstavní halová centra. Vhodnou volbou poměru rozpětí a vzepětí konstrukce lze dosáhnout optimálního návrhu pro danou potřebu. U obvyklých obloukových konstrukcí je možné setkat se s větší délkou oblouku a menším vzepětím. Tedy u pat oblouků dochází ke snížení světlé výšky, které nám může vadit z hlediska provozních potřeb. V místech menších výšek se pak umísťují především tribuny a zázemí. Někdy se provádí návrh, kde se oblouková konstrukce umístí již v určité výšce. U toho případu je ale poté nutné zajistit bezpečné přenesení vodorovných sil (pomocí táhla, nebo masivních stěn).



Obr. 14 - Obloukové konstrukce: a) Uzavřený systém b) Otevřený systém c) Vliv přetížení na směrové působení reakce

U obloukových konstrukcích je betonu hojně využíváno mimo jiné na masivní konstrukce pat klenby, které zajišťují přenos svislých a vodorovných sil do základů a podloží. Tyto paty se pak mohou posuzovat společně s jejich základem na jeden z důležitých mezních stavů - ztráty stability. Vodorovné síly, přenášející se stykem mezi střešní nosnou konstrukcí a patou oblouku, závisejí na velikosti vzepětí a působení zatížení. Obecně se dá říci, že čím větší vzepětí, tím klesá vodorovná reakce a roste reakce svislá. Můžeme

se také setkat se snahou snížit vodorovnou reakci pomocí přitížení (Obr. 14c) (svislá síla mění směr výsledné reakce - červeně)



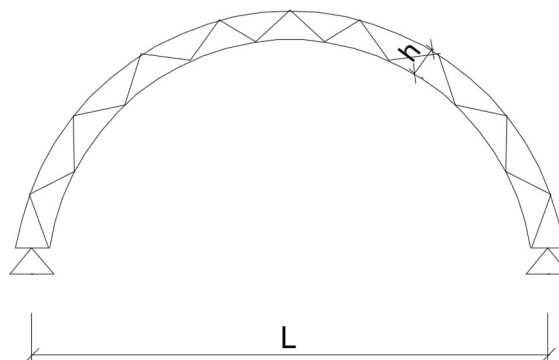
Obr. 15 - Uzavřený systém [46]



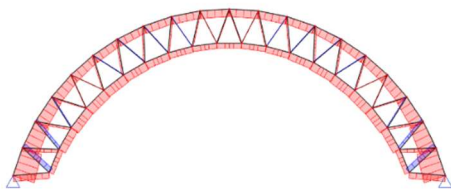
Obr. 16 - Otevřený systém [22]

### 2.2.1 Příhradové obloukové konstrukce

U obloukových konstrukcí platí velmi podobná pravidla, která byla shrnuta u příhradových vazníků (problematika vyztužení a problematika styčniců). Setkat se můžeme s rozpětím  $L = 20 - 200$  m. Velká rozpětí můžeme nalézt hlavně v ocelové variantě. Dolní a horní pás umožňuje rozdělení sil od zatížení, kde se síly přerozdělí mezi oba tlačené pásy. Díky tomu je možné snížení nutné potřebné plochy průřezu jednotlivého pásu, který tomuto zatížení odolává. Spojovací prostředí mezi pásy je namáháno tahem a tlakem.

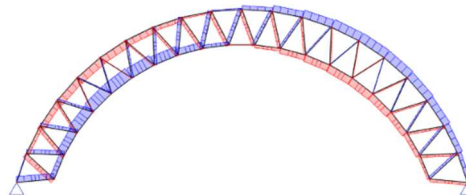


Obr. 17 - Statické schéma obloukové příhradové konstrukce



Obr. 18 - Normálové síly od stálého zatížení

Červeně – tlak, Modře - tah



Obr. 19 - Normálové síly od zatížení větrem

– zleva: Červeně – tlak, Modře - tah

Jako příklad lze uvést ocelovou sportovní halu Jižní Město (Obr. 20) a dřevěnou sportovní halu v Trutnově (Obr. 21).



Obr. 20 - Sportovní hala Jižní Město [21]

U (Obr. 21) dřevěné haly lze vidět typické provedení betonové paty dřevěného klenutého příhradového vazníku. Z důvodu nízkého vzepětí působí v patě klenby větší vodorovné síly. Tyto síly se přenáší pomocí vhodného, v mnoha případech kloubového styku. U dřevěných konstrukcí je styk mezi dřevěnou částí a betonovým podkladem řešen často pomocí různých ocelových patek, destiček, šroubů. Například (Obr. 28). Vhodnost použití oceli a dřeva je opět díky lehkosti konstrukce a možnosti spojení jednotlivých prvků až při montáži na stavbě. Ve větší míře odpadá řešení svislé nosné konstrukce, kdy je pata oblouku napojena přímo na konstrukci základu. V betonové variantě lze uvést samonosnou konstrukci v Seattlu – Amerika, která slouží pouze jako architektonicky zajímavý prvek (Obr. 22). Konstrukce je tvořena železobetonovým obloukem spojeným v prostoru vyztuženými diagonálami. Z důvodu subtility přenáší konstrukce zatížení od vlastní tíhy a zatížení větrem. Je potřeba dávat pozor i na zakládání těchto konstrukcí, nepatrný pokles jednoho sloupu by mohl mít vliv na nosnost celé konstrukce. Vhodné je zakládat na společný rošt, desku, nebo pomocí uskupení pilot.





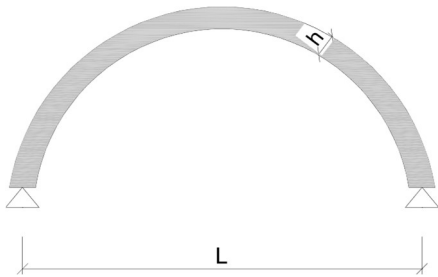
Obr. 21 - Sportovní hala Trutnov [22]



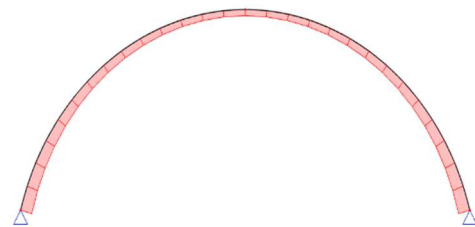
Obr. 22 - Betonová příhradová oblouková konstrukce – Seattle [40]

### 2.2.2 Plnostěnný oblouk

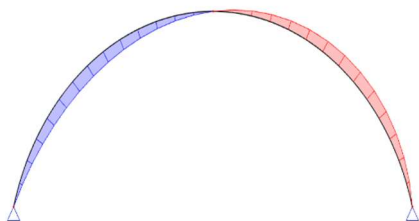
Působení plnostěnného oblouku je velmi podobné, jako u příhradové obloukové konstrukce. Stále platí stejné předpoklady, liší se pouze spojení dolní a horní pásnice oblouku. V tomto případě je toto propojení namáháno především smykem. Průřezy nemusí být navrhovány jenom s použitím pásnic a stojiny (stojina pásnice propojuje). Možnosti jsou i další, a to především pro dřevo a beton, kde se realizují spíše průřezy jednoduchých geometrických tvarů (kruh, obdelník, pětiúhelník aj.). Při použití vysokých a tenkých průřezů je nutné zohlednit také klopení, tedy i příčnou stabilitu.



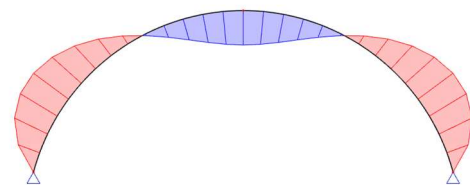
Obr. 23 - Statické schéma plnostěnného oblouku



Obr. 24 - Normálové síly od stálého zatížení  
(Červeně – tlak)



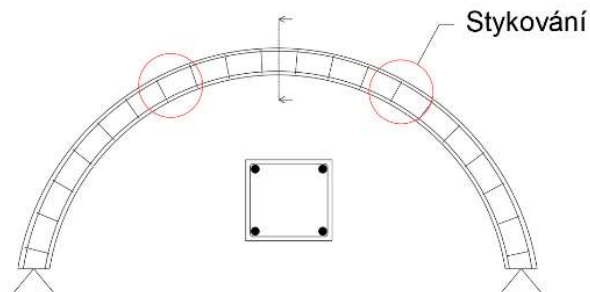
Obr. 25 - Ohybové moment od zatížení větrem – zleva



Obr. 26 - Ohybový moment od stálého zatížení

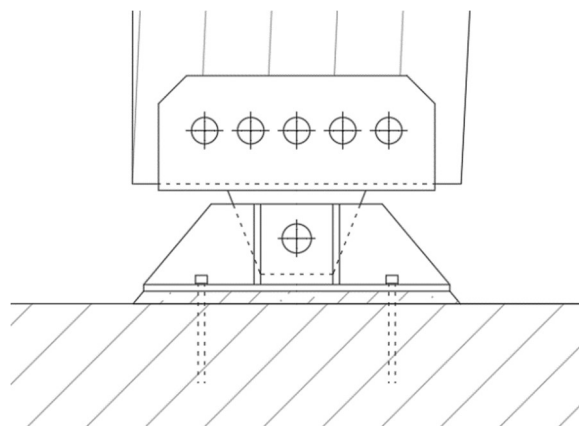
Při řešení vyztužení je nutné zohlednit všechny zatěžovací stavy, které se odráží zároveň i v geometrii konstrukce. Volbou vzepětí a rozpětí lze ovlivňovat působení tlakového

namáhání a působení ohybových momentů. Pro různé zatěžovací stavy např. při stálém zatížení lze docílit úpravou geometrie oblouku působení čistě tlakové. Roli může hrát i celková štíhlost konstrukce a případné vybočení. Stykování výztuže je vhodné v místě malých, nebo nulových momentů (Obr. 27) - stykovan s návazností na (Obr. 26).



Obr. 27 - Schéma vyztužení oblouku

Náročné je i technologické provedení dané konstrukce, především, pokud se nejedná o prefabrikované dílce, kde se musí řešit doprava. Pokud se jedná o monolitický oblouk, je potřeba vyřešit technologii vybednění. Typů bednění je hned několik. Může se jednat o předem nosnou a tvar určující konstrukci dřevěných ramenátů, bednění pomocí jednotlivých rámu či desek (jejich uložení na stojky v proměnných výškách oblouku), nebo speciální bednicí vozíky, které se používají i u mostních konstrukcích. Pokud se nejedná o otevřený systém působení (Obr. 14b), je potřeba vhodně navrhnout i podpory, které budou zatížení přenášet do základové konstrukce. Například vetknutí nám zvyšuje nároky na masivnější provedení spoje a případně nároky na jeho větší procentuální vyztužení. Volba kloubového styku (Obr. 28) zvyšuje technologickou náročnost především při osazování, a z toho důvodu také použití těžké techniky (velká hmotnost).



Obr. 28 - Kloubový styk typický pro dřevěné haly

Jako příklad sportovních hal lze uvést halu na Výstavišti s ocelovým obloukem (Obr. 29) a halu pro VUT v Brně se segmentovým obloukem z lepeného lamelového dřeva

(Obr. 30). V ocelové variantě se můžeme setkat s otevřenými, nebo uzavřenými profily. U dřeva nejčastěji s lepenými lamelovými zakřivenými nosníky, kde jsme schopni docílit velké výšky průřezu.

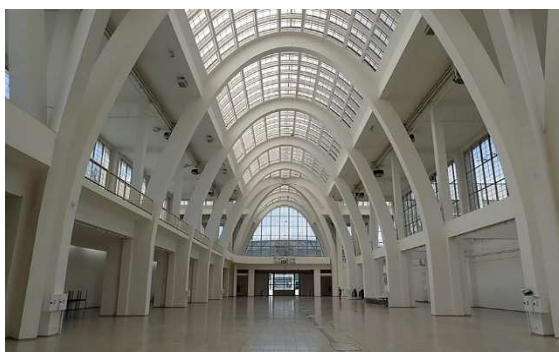


Obr. 29 - Ledová plocha – Výstaviště [24]



Obr. 30 - Hala VUT Brno [25]

Kvůli složité realizaci a snaze co nejvíce zrychlit proces výstavby se v dnešní době s touto konstrukcí nelze tolik setkat u pozemních staveb. Dříve realizace probíhala především v průmyslových závodech, kdy ocel byla cenově dražší, než beton a pracovní síla byla levnější.



Obr. 31 - Brno - Industriální pavilon [26]



Obr. 32 - Krásenské sklárny [27]

Obloukové konstrukce z betonu se nyní realizují především u mostních konstrukcí liniových staveb. Jako příklad lze uvést druhý největší obloukový most (r.2010) v České republice - most přes Opárenské údolí [43]. Pro tuto konkrétní konstrukci byla potřeba vyřešit několik aspektů, které ovlivňovaly především technologický proces výstavby. Z důvodu masivní konstrukce (tloušťka: 1,3 - 2,4 m; šířka: 7 m) se oblouk betonoval po úsecích (lamely délky okolo 6 m). Délka lamely byla zvolena z důvodu optimalizace rychlosti a tíhy jednotlivých segmentů. Délka segmentu poté ovlivňuje i stykování a délky jednotlivých prutů výztuže. U těchto masivních konstrukcí dosahují průměry  $\varnothing > 40$  mm. Zároveň se při hydrataci uvolňuje velké množství hydratačního tepla. Konstrukci je potřeba chladit. Možnosti chlazení mohou být například: chlazení v betonárně, chlazení

přímo na stavbě např. pomocí ledu, u mostů lze brát chladnou vodu z potoka, chlazení dusíkem. Pro tuto konstrukci byl zároveň vyvinut betonovací vůz, který umožnil zjednodušení celého procesu betonování.



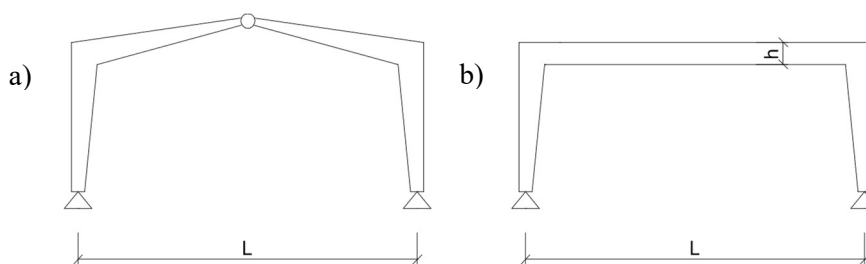
Obr. 33 - Obl.most - Oparanské údolí [44]



Obr. 34 - Obl.most - Oparanské údolí [45]

### 2.3 Rámové konstrukce

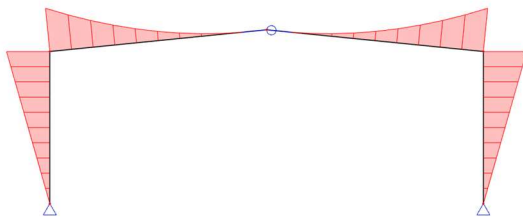
Tento typ konstrukce tvoří „jakýsi“ přechod mezi soustavami převážně tlačnými a soustavami namáhanými ohybovými momenty. Rám umožňuje vhodně a efektivně provést zastřešení prostor s požadavkem na větší světlou výšku. V místě největšího namáhání (rámový roh) se navrhuje větší, masivnější průřezy, tedy zvětšujeme rameno vnitřních sil. Většinou pomocí tzv. náběhů. Podle poměrů tuhostí jednotlivých prvků (příčle a stojky) se pak u staticky neurčitých konstrukcí přenáší silové namáhání. Typické rozpětí: šest až šedesát metrů v závislost na typu provozu, použitém materiálu a dimenzích.



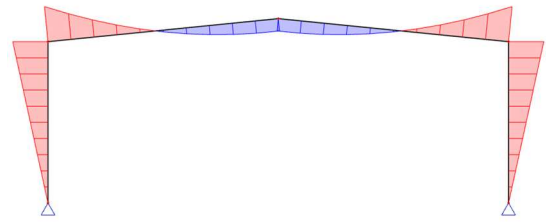
Obr. 35 - Možná uspořádání rámové konstrukce

a) Trojkloubový rám    b) Dvojklobový rám

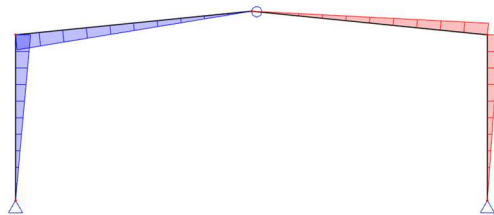
Každá z n-kloubových konstrukcí se vyznačuje jiným statickým působením. Zatímco u trojkloubové konstrukce je nejvíce namáhaný rámový roh, u konstrukce dvojklobové je ohybově namáhaná i střední část příčle.



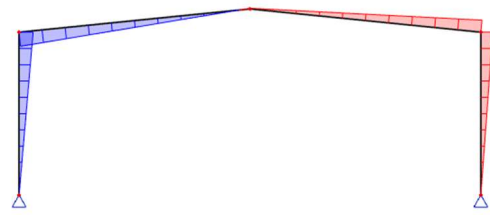
Obr. 36 - Ohybové momenty od užitého zatížení



Obr. 37 - Ohybové momenty od užitého zatížení



Obr. 38 - Ohybové momenty od zatížení větrem



Obr. 39 - Ohybové momenty od zatížení větrem

Rámové konstrukční řešení u ocelových hal je jedno z nejčastěji prováděných v České republice. Důvodem je především jednoduchost montáže, lehkost konstrukce a cena.

Příkladem může být v tomto případě trojkloubová rámová ocelová konstrukce Sportovní haly Děkanka (Obr. 40), trojkloubová rámová dřevěná konstrukce (Obr. 41) a dvoukloubová rámová ocelová konstrukce haly (Obr. 42).



Obr. 40 - Sportovní hala Děkanka – Praha [28]



Obr. 41 - Trojkloubová rámová kce. [29]



Obr. 42 - Dvoukloubová rámová hala - Polsko [17]

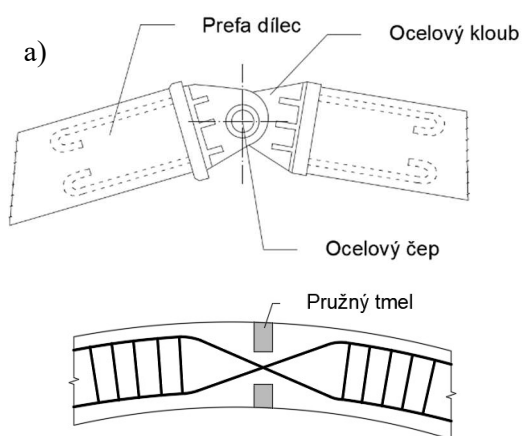


Obr. 43 - Dvoukloubová rámová hala - Brno [30]

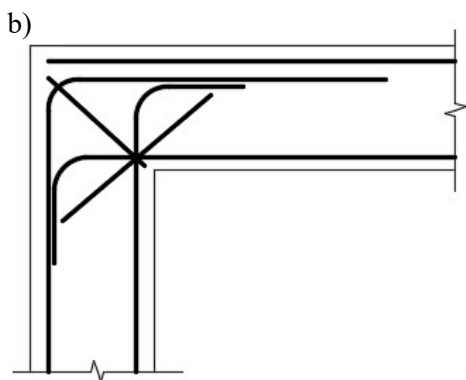


Obr. 44 - Rámová konstrukce střechy - Továrna v Novém Městě nad Váhom [32]

Betonové rámové konstrukce hal se moc nerealizují. Důvodem je vysoká pracnost, tíha konstrukce a náročnější řešení detailů rámových rohů a případně kloubových styků viz. (Obr. 46). Tento konkrétní způsob uspořádání výztuže může reprezentovat vhodné vyztužení u prefabrikovaného prvku, které by u monolitické konstrukce bylo složitější na provedení. Působení rámového rohu a jeho princip můžeme ovšem najít ve většině monolitických železobetonových konstrukcí.



Obr. 45 - Trojkloubový rám [36]



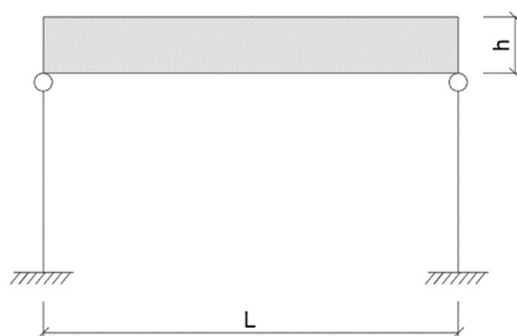
Obr. 46 - Možný způsob vyztužení: a) kloubový styk v koruně, b) rámový roh



Obr. 47 - Trojkloubový rám - bazén - Walton-on-Thames [38]

## 2.4 Vazníkové a deskové konstrukce

Poslední a také nejčastější typ betonových konstrukcí pro zastřešení hal jsou právě konstrukce vazníkové a deskové, kde se uplatňuje ve vysoké míře prefabrikace. Z hlediska deskových nebo vazníkových prvků se jedná o stejné typové namáhání. Lze vysledovat podobnost i s příhradovým vazníkem, který byl ovšem analyzován samostatně (kap.2.1), aby zohlednil důležité působení a problematiku řešení diagonálních, svislých, vodorovných prutů a styčniců. Staticky působí střešní nosná konstrukce ve většině případech jako prostý nosník. Jedná se o příčli (vazník / nosník / deska), která je u prefabrikace kloubově uložena na sloupy, případně průvlaky. V ocelové variantě se můžeme setkat s vazníky prolamovanými, případně plnostěnnými, u dřeva s vazníky lepenými. Typické rozpětí od deseti do čtyřiceti metrů. Běžné je také použití předpětí, hlavně u betonových prefabrikovaných variant.



Obr. 48 - Statické schéma vazníkové konstrukce

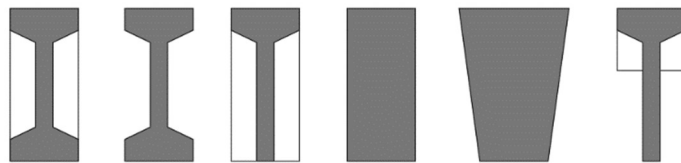


Obr. 49 - Lepený sedlový vazník [20]

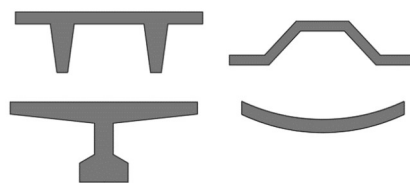


Obr. 50 - Ocelový prolamovaný vazník [21]

Betonové průřezy se používají v širokém spektru variant, které se snaží co nejvíce zefektivnit návrh. Většina průřezů se snaží dosáhnout velkého momentu setrvačnosti a zároveň co nejmenší plochy průřezu (např. průřez I). Velká část průřezové plochy je situována k horním a dolním vláknům. V případě prostě uloženého betonového nosníku namáhaného stálým a užitným zatížením, nám v horních vláknech pozitivně působí tlakovou pevností beton. V dolních vláknech pak zajišťujeme především ochranu výztuže proti korozi a požáru. Tím docílíme velké únosnosti a zmenšíme hmotnost prvku.



Obr. 51 - Příklady průřezů typicky používaných vazníků



Obr. 52 - Příklady průřezů typicky používaných deskových vazníků



Obr. 53 - Vazníková hala – Ariane [36]



Obr. 54 - TT panely - KŠ Prefa [35]





Obr. 55 - ŽB - prolamovaný nosník [47]



Obr. 56 - Příhradový ŽB nosník [47]

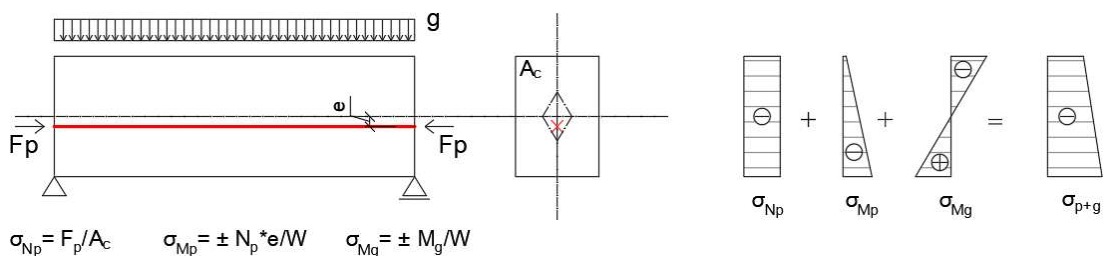
Jelikož při větším rozpětí již železobeton není schopen poskytnout dostatečně efektivní návrh, vylepšují se prvky předpětím. Velmi časté provedení je ve formě předpjatých vazníků a na nich uložených předpjatých vaznic. Uplatňuje se i použití deskových prvků, kdy odpadá použití vaznic a zastřešení se realizuje jako jednostupňové (desky osazeny přímo na sloupy, stěny (Obr. 54), nebo také dvoustupňové (desky osazeny na/do průvlaků). Omezení rozpětí je přibližně do 40 m a na 40 t hmotnosti jednoho prvku. Klíčová otázka je problematika dopravy prefabrikovaných dílců a použití těžké techniky při montáži, která je ekonomicky náročná [14]. Alternativou se také naskýtá sepnutí více dílců v částech rozpětí, částečně poukázáno na příkladu v (kap.2.1). Nicméně problematika spojování má mnohá úskalí, která se v praxi nesnadno řeší.

Ze souhrnu různých, běžně používaných typů hal je možné říci, že v betonové variantě se nejvíce navrhují a realizují právě vazníkové a deskové střešní konstrukce. Ani tento typ ovšem v mnoha hlediskách nepředčí používání ocelových a dřevěných střešních konstrukcí. Problematika řešení spočívá především v tíze konstrukce, problematické dopravě, horším řešení styků a časové náročnosti výstavby. V některých případech nám přesto může návrh v betonovém provedení vyhovovat, a to například z požárního hledisku, architektonického pojetí a tuhosti celého systému.

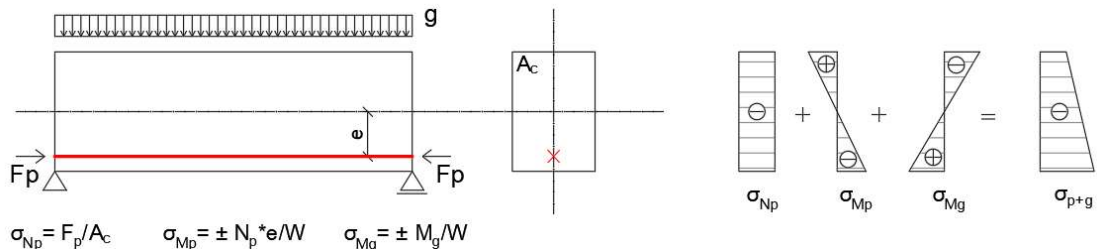
### 3 Předpjatý beton

Při potřebě navrhovat prvky na velká rozpětí s využitím předpínaného betonu, je nutné aplikovat určitý typický postup návrhu pro tento typ konstrukcí. Obecně se postupy liší, pokud navrhujeme konstrukce staticky určité a staticky neurčité. Pro vazníkové soustavy je běžný systém staticky určité konstrukce, kde zastřešení typicky řešíme jako prostý nosník.

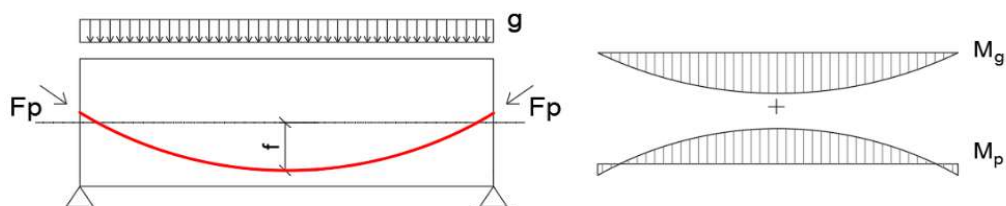
Základním principem předpjatého betonu je vnesení tlakové síly ( $F_p$ ) do průřezu, která má ve většině případů za cíl snížit, nebo dokonce úplně omezit tahová namáhání jednotlivých průřezů.



Obr. 57 - Centrické předpětí – přímé tažení kabelu v jádrech průřezů



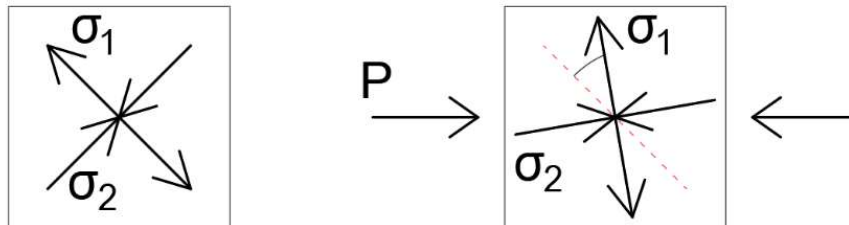
Obr. 58 - Excentrické předpětí – přímé tažení kabelu



Obr. 59 - Parabolické předpětí – přímé tažení kabelu

Z důvodu velkého napětí v předpínací výztuži se musí používat speciální vysokopevnostní ocelová lana, nebo tyče (charakteristická tahová pevnost  $f_{pk}$  např. 1770MPa). Zároveň je volena vyšší pevnostní třída betonu, přibližně (30 – 60 MPa) a beton s nízkým vodním součinitelem. Díky tomu je možné omezit vznik hydratačních pórů a trhlin. Klasická betonářská výztuž se kromě zachycení tahových namáhání podílí

na přenesení kroucení, smyku a v neposlední řadě slouží k celkovému spojení konstrukce. Předpínání nám zároveň příznivě ovlivňuje směry hlavních napětí (Obr. 60). Při působení tlakové síly se mění sklon hlavních napětí, a tedy místo tlačných diagonál působí v prvku spíše tlačné svislice, úhel působení je závislý především na geometrii, zatížení a předpětí prvku.



Obr. 60 - Působení hlavních napětí na elementárním prvku

Vzhledem k obvykle svislé orientaci smykové výztuže lze říci, že čím svislejší bude hlavní tahové napětí ( $\sigma_1$ ), tím efektivněji bude výztuž využita.

### 3.1 Technologie a výroba předpjatých betonových prvků střešních konstrukcí

#### 3.1.1 Předem předpjaté prvky

V hale na výrobu prefabrikátů se nachází několik drah, nebo forem, ve kterých je před betonáží umístěna jak betonářská výztuž, tak výztuž předpínací. Předpínací výztuž je ukotvena po obou koncích v kotevním zařízení a z jedné strany hydraulicky napnuta na požadované napětí. Prvek se poté okolo výztuže vybetonuje. Po nabytí dostatečné pevnosti se prvek odbední a předpínací výztuž se jednorázově uvolní [obr.55]. Přechínající část výztuže se odřeže. Prvek je poté přepraven jeřábem nebo zdvižným vozíkem na skladovací místo kde čeká na přepravu na stavbu.

Je možné setkat se se samotným řezáním dílců, kde je výhodné vybetonovat celý pás dráhy a po nabytí dostatečných pevností nařezat panely na požadované délky. Otvory, které jsou v panelu naprojektovány se mohou vydlabávat při tuhnutí, nebo se před betonáží do bedněni osazují chráničky, případně se dodatečně vyvrtávají do zatvrdlého dílce.



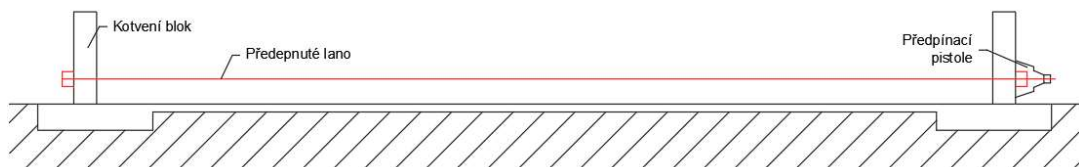
Obr. 61 - Forma na předpjaté vazníky [40]



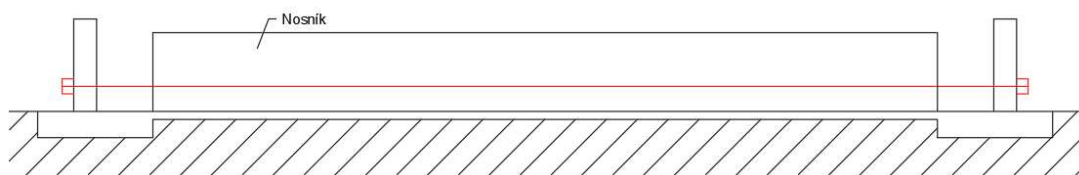
Obr. 62 - Skládání formy na předpjaté vazníky

[41]

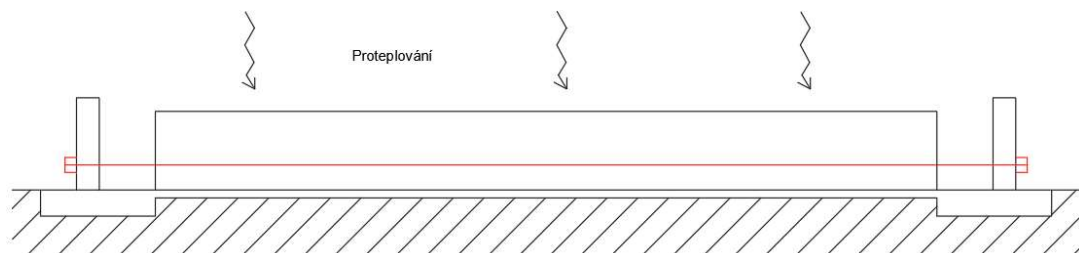
### 1. fáze - napnutí předpínacích lan



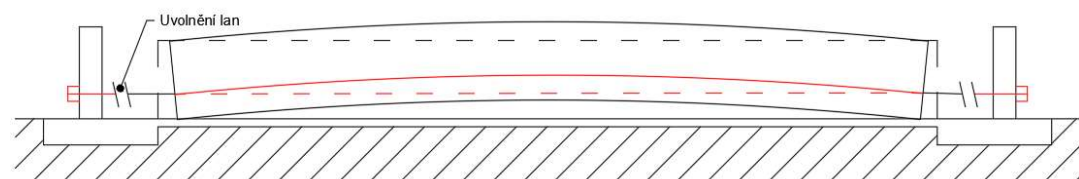
### 2. fáze - vybetonování



### 3. fáze - ošetřování



### 4. fáze - uvolnění lan

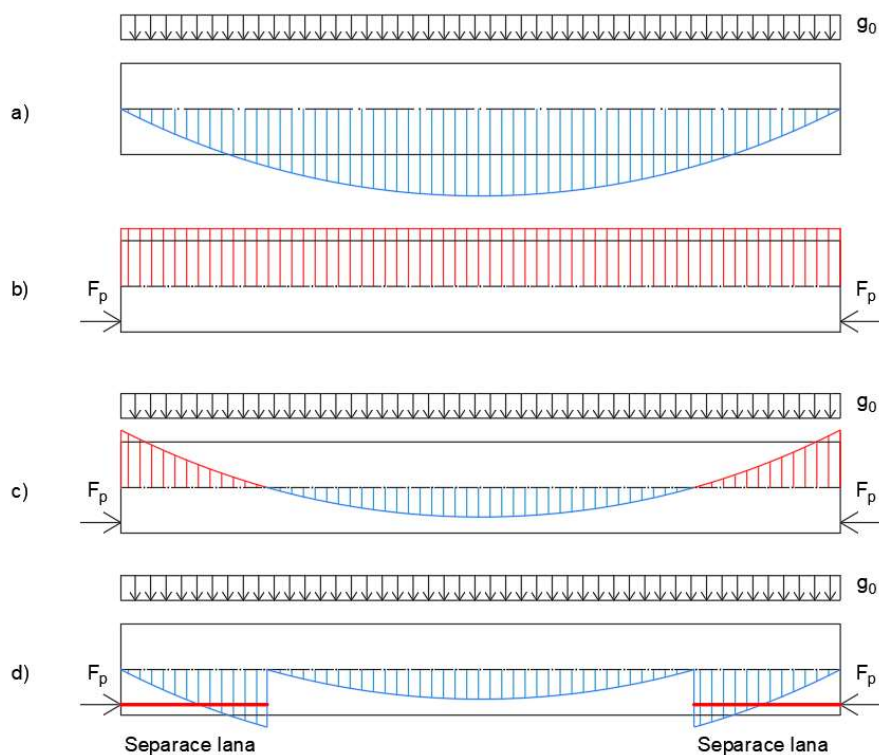


Obr. 63 - Proces výroby předem předpjatých prvků

Předpínací lana, nebo tyče mohou mít různou povrchovou úpravu, která zajistí dostatečnou soudržnost mezi betonem a výztuží. U lan se jedná především o jejich propletení, u tyčí pak pomáhá v soudržnosti hlavně povrchová úprava formou různých výstupků či zářezů.

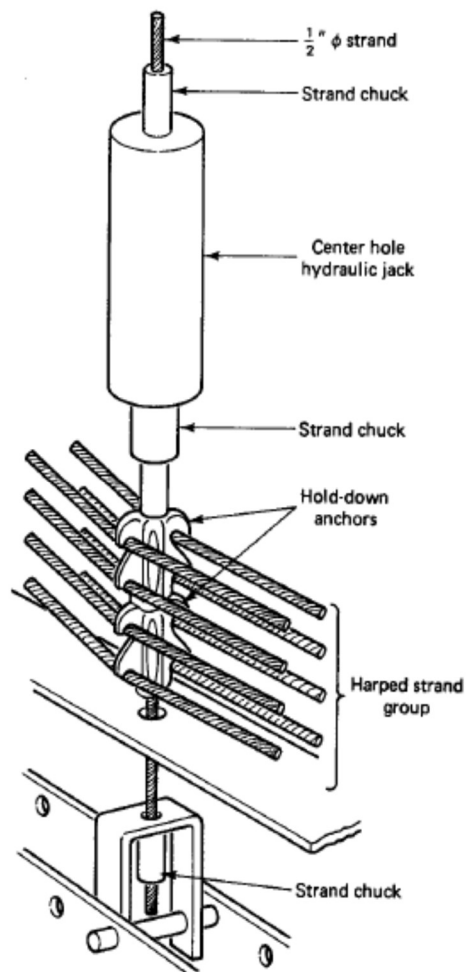
### 3.1.2 Eliminace účinků předpětí v blízkosti podpor

Předpínací lana jsou navržena tak, aby jejich umístění při dolním povrchu působilo co nejpříznivěji vůči ohybovému momentu od zatížení. Pokud se ale podíváme na příklad prostého nosníku, u okrajů jsou momenty od zatížení velmi malé, nebo nulové. Jelikož jsou kabely (lana) u předem předpjatých prvků napínány většinou na přímo, bez proměnné excentricity. Při větším napětí by mohlo dojít k porušení horních krajních průřezů trhlinami – vznik záporných momentů od předpětí. Z tohoto důvodu se používá tzv. separace lan. Jedná se o uložení koncové části několika předpínacích lan do měkkčené PE trubky s mazivem. Tato trubka v koncových oblastech znemožňuje působení předpětí - separuje beton a ocel. Délka separace se odvíjí od působení zatížení a návrhu předpínacích lan. Častá separace je především u lan s největší excentricitou z důvodu vyvozujiícího většího momentu. Tedy při menším množství separací lan docílíme většího snižujícího účinku působení tahových napětí.

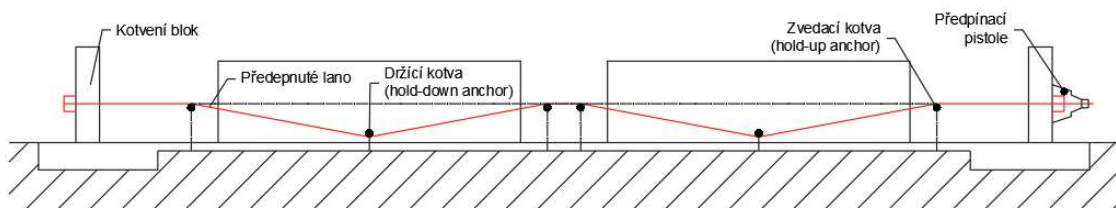


Obr. 64 - Princip separace a) Moment od stálého zatížení b) Moment od předpínací síly c) Výsledný moment d) Výsledný moment při použití separačních prvků

Druhá možnost tažení předpínacích kabelů (lan), která se aplikuje především u dodatečně předpjatých prvků, je uložení kabelů s proměnnou excentricitou podle působení momentu od zatížení. U předem předpjatých prvků lze tento princip použít pomocí deviátorů (Obr. 65). Z důvodu technologické náročnosti ale není tento systém u předem předpínaných prvků tak běžný, spočívá v nastavení držících kotev, které mají rektifikovatelnou výšku a jsou schopny regulovat excentricitu kabelu vzhledem ke střednici prvku. Takto napnuté kabely lze poté zabetonovat (Obr. 66).



Obr. 65 - Deviátor [41]



Obr. 66 - Princip předem předpjatých prvků s proměnnou excentricitou lan

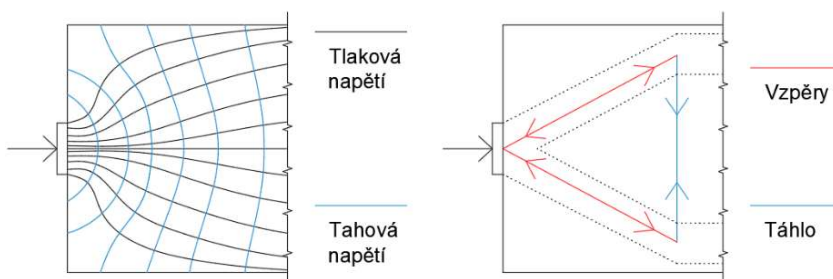
### 3.1.3 Dodatečně předpjaté prvky

Fungují na principu vnesení předpětí až po zatvrdnutí prvku. Většinou pomocí umístěných kanálků s volnými lany v bednění před betonáží. Rozeznáváme předpětí se soudržností a bez soudržnosti. Při soudržnosti se kanálky, ve kterých jsou napnuta lana dále injektují, čímž vytvoříme danou soudržnost. U nesoudržných systémů se nechávají kanálky volné bez injektáže. U dodatečně předpjatého systému je zároveň efektivnější a lépe realizovatelná možnost tažení kanálků při měnící se výšce prvku. Tím se nám tedy mění i excentricita předpínacích lan a lze vhodně kombinovat předpětí v průřezu dostředně a s excentricitou.

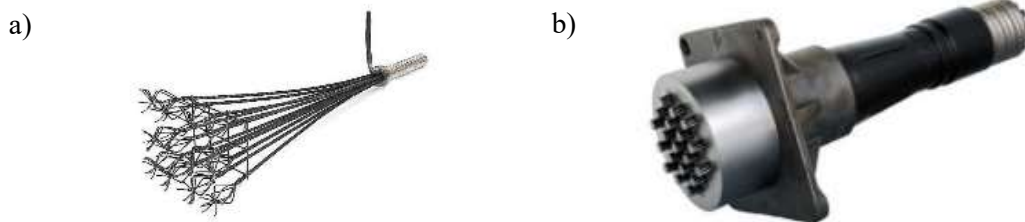
Z důvodu dodatečného předpětí je nutné řešit i kotvení, které je v tomto případě složitější, než u předem předpjatého prvku, kde se uplatňuje soudržnost mezi betonem.

### 3.1.4 Kotvení

Při dodatečném předpětí se napínací síla nevnaší do prvku soudržností, jako u předem předpjatého betonu, ale pomocí roznášecího systému na koncích prvku (kotvení). Kotvení rozlišujeme aktivní a pasivní. Aktivní kotvení obsahuje většinou ocelovou roznášecí desku, ve které jsou pomocí kotevních kuželíků zaklíněny předpínací lana (Obr. 68b). Pasivní kotvení se realizuje při potřebě ukončit, nebo nepředpínat lano na jedné straně. Většinou je tvořeno rozpletenými lany s různou koncovou úpravou, která nedovolí lanům vytrhnutí (cibulové kotvy, u-deska, kotevní destičky, aj.) (Obr. 68a). Z důvodu velkých předpínacích napětí ( $\sim 1600\text{MPa}$  – napětí v předpínací výztuži) dochází v kotevní části k velké koncentraci hlavních tlakových napětí, a tedy i příčných tahů. Toto místo se ošetřuje použitím předpínacích kotev s roznášecí tahovou výztuží, případně s možností vložení tahové betonářské výztuže v dalších částech oblasti. Výztuž v této oblasti je možné navrhovat například pomocí metody příhradové analogie (Strut-and-tie metod), případně použít různé softwary určené k nelineární analýze.



Obr. 67 - Koncentrace napětí v podkotevní oblasti a charakteristický SaT model



Obr. 68 - Typy kotvení: a) Pasivní, b) Aktivní [27]

### 3.2 Ztráty předpětí

U předpjatých prvků dochází v průběhu výroby i následné životnosti k poklesu napětí v předpínací výztuži a tím ke snižování účinků předpětí = ztráty předpětí  $\Delta\sigma$ . Tyto ztráty se poté musí uvažovat ve výpočtu návrhu předpětí. Z Hookova zákona platí:

$$-\Delta\sigma = E \cdot (-\Delta\varepsilon)$$

Celkové ztráty se při prvotním návrhu volí většinou 15 – 25% v závislosti na typu prvku. Tato volba nám poskytuje základní předpoklad pro spolehlivý návrh předpínací výztuže. Ztráty mohou probíhat již při předpínání, a také po celou dobu životnosti konstrukce, především z důvodu reologických změn betonu. Rozeznáváme tedy:

#### 3.2.1 Ztráty okamžité (krátkodobé)

- Ztráta třením
- Ztráta pokluzem (dodatečné předpjaté konstrukce)
- Ztráta pružným přetvořením betonu
- Ztráta postupným předpínáním (dodatečné předpjaté konstrukce)
- Ztráta krátkodobou relaxací
- Ztráta přetvořením napínacího zařízení
- Ztráta otlacením betonu (dodatečné předpjaté konstrukce)
- Ztráta rozdílem teploty opěrného zařízení a předpínací výztuže
- Ztráta stlačením spár při postupném předpínání segmentových prvků
- Další, méně důležité ztráty

**Ztráta třením** - Tento problém nastává při tření mezi výztuží a kabelovým kanálkem. Tření závisí na křivosti předpínacího kabelu a je větší při předpínání v oblouku z důvodu radiální síly. U předem předpjatých prvků nám tato ztráta odpadá.



**Ztráta pokluzem** - Nastává díky nedostatečnému zatlačení kuželíku, který svírá ocelové lano, do kotevní objímky.

**Ztráta pružným přetvořením betonu** - Normálová síla od předpětí vykoná na prvku práci formou přetvoření. Přetvoření nastává v rámci uvolnění předpínací síly, kterou drží kotevní zařízení. Díky přetvoření betonu nastává zároveň i přetvoření výztuže. Velmi záleží, kolik lan a jak uvolňujeme. Zároveň je důležitá pozice lan, která nemusí způsobit stejné přetvoření po průřezu. U dodatečně předpjatého betonu eliminuje tuto ztrátu předpínací pistole, která zjednodušeně nedovolí lanu, aby se zkrátilo (dodatečné dopínání). Nastává tedy pouze přetvoření (zkrácení) betonu.

**Ztráta postupným předpínáním** – Postupným napínáním jednotlivých lan vždy nastává ztráta na lanech již předepnutých předpínacích kabelů. U této ztráty záleží, kolik lan budeme postupně napínat.

**Ztráta krátkodobou relaxací** - Účinkem působení počátečního vysokého napětí ve výztuži a betonem zabraňujícím zkrácení nastávají v krystalické mřížce oceli určité změny a přeskupení, čímž dochází k poklesu napětí ve výztuži, aniž by se měnilo její přetvoření.

**Ztráta přetvořením napínacího zařízení** - U předem předpjatých prvků může dojít k přetvoření napínacího zařízení z důvodu velké předpínací síly. Díky tomu opět nastává přetvoření výztuže.

**Ztráta otláčením betonu** - K této ztrátě dochází u dodatečně předpjatých prvků při ovíjení (nádrže, chladicí věže aj.). Z důvodu působící radiální síly nastává otláčení, to způsobí, že se lano zkrátí.

**Ztráta rozdílem teplot opěrného zařízení a předpínací výztuže** - Díky snaze o rychlejší tvrdnutí se předem předpjaté betonové prvky proteplují, z důvodu oteplení a s ním souvisejícím protažením nastává další ztráta výztuže.

**Ztráta stlačením spár při postupném předpínání segmentových prvků** - Pokud předpínáme postupně segmentové prvky (princip sepnutí). Nastává stlačování průřezu mezi konci sepnutých prvků.

### 3.2.2 Ztráty dlouhodobé

- Ztráta relaxací předpínací výztuže
- Ztráta dotvarováním betonu
- Ztráta smršťováním betonu

**Ztráta relaxací předpínací výztuže** – Princip stejný jako u krátkodobé relaxace. Velikost relaxace závisí na velikosti napětí a čase, kdy držíme napětí na určité úrovni. Částečné zabránění tomuto problému je použití stabilizovaných lan, nebo podržení napětí, kolem 5 minut, při předpínání.

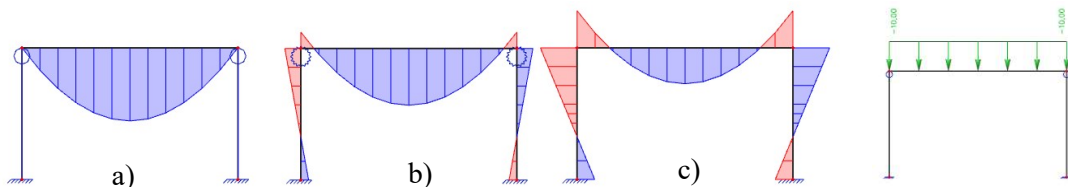
**Ztráta dotvarováním betonu** - Je proces přeměny/seskupování materiálu z důvodu vícefázového a vícesložkového prostředí. Závisí především na délce trvání zatížení, množství použitého cementu a vody, druhu kameniva, okolní vlhkosti a času, kdy se zatížení vnáší.

**Ztráta smršťováním betonu** - Ztráta volné, nevázané vody v důsledku vypařování, nastává zmenšování betonového prvku v místech vysychající plochy. Zároveň nastává i přetvoření předpínacích kabelů.

## 4 Okrajové podmínky návrhu konstrukcí betonových hal

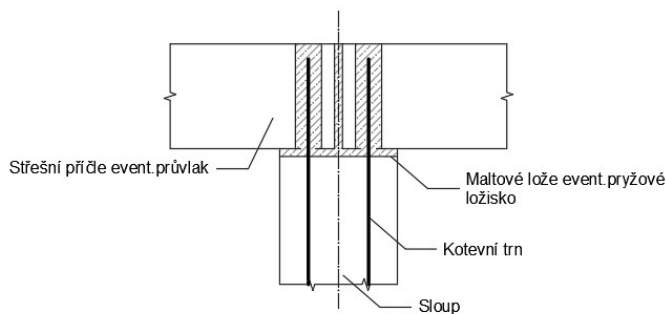
### 4.1 Styky

Spojení sloupů a příčlí se provádí převážně kloubové. Kloubové spojení má za následek nemožnost přerozdělení ohybových momentů, a tedy nutné větší dimenze, a tím pádem větší množství výztuže v kritickém průřezu. Pokud by spojení bylo například realizováno jako vetknutí, docílíme tak přesun momentu z části i do podpory a středový průřez bude namáhán méně, tedy bude potřeba i menší dimenze. Tento fakt je možné sledovat na (Obr. 69), kde je zobrazeno přerozdělování momentů podle tuhosti styků.

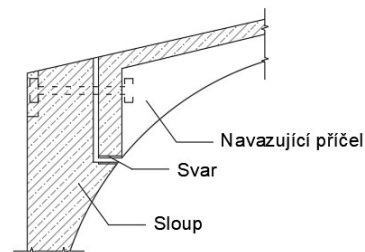


Obr. 69 - Tuhosti styků při stálém zatížení: a) Bez ohybové tuhosti, b) Částečná ohybová tuhost, c) Vetknutí

Volba monolitické varianty je možná, nicméně z minulých kapitol odpovídá spíše rámovým konstrukcím, které se dnes běžně v betonovém provedení pro halové stavby nepoužívají. Výrazně se uplatňuje především prefabrikované řešení dílců a jejich následné spojování. Styky jsou u prefabrikace jednou z klíčových částí při návrhu. Vhodná volba statického modelu v prvotní fázi tedy hraje velmi důležitou roli pozdějšího působení konstrukce. Hlavní styky, se kterými se u vazníkových halových staveb setkáme, jsou napojení svislé nosné konstrukce na konstrukci základu a napojení vodorovné nosné konstrukce na konstrukci svislou. Velmi častá varianta provedení kloubového styku je vidět na (Obr. 70). Každý ze styků má na začátku životnosti vždy určitou ohybovou tuhost (i styky kloubové, kde je i malou část momentu schopna přenést betonová zálivka). Tyto tuhosti se zjišťují především ze zkoušek nebo výpočty. U velké většiny případů těchto styků je ale při návrhu voleno kloubové působení a rezerva v určité tuhosti není na škodu.



Obr. 70 - Poddajný styk prefabrikátů



Obr. 71 - Tuhý styk prefabrikátů

Zároveň je nutné také zmínit velmi složité provádění tuhých styků u prefabrikace a nutnost zohledňovat dočasné návrhové situace v různých fázích montáže a životnosti konstrukce.

U staticky neurčitých konstrukcí brání jednotlivé podpory a styky přetvoření konstrukce, při různém působení jednotlivých zatěžovacích stavů dochází z důvodu nemožnosti přetvoření k napětí, například při působení účinků teploty, nebo poklesu podpor. Obráceně, u konstrukcí staticky určitých tyto jevy nenastávají a konstrukce se přetváří. Při volbě okrajových podmínek dané konstrukce musíme tedy vhodně předcházet problémům, které mohou tyto podmínky způsobovat a navrhnout konstrukci optimálně. Pokud optimalizaci nevyřešíme dané problémy, je nutné je posoudit a zajistit maximální mezní přetvoření, případně napětí.

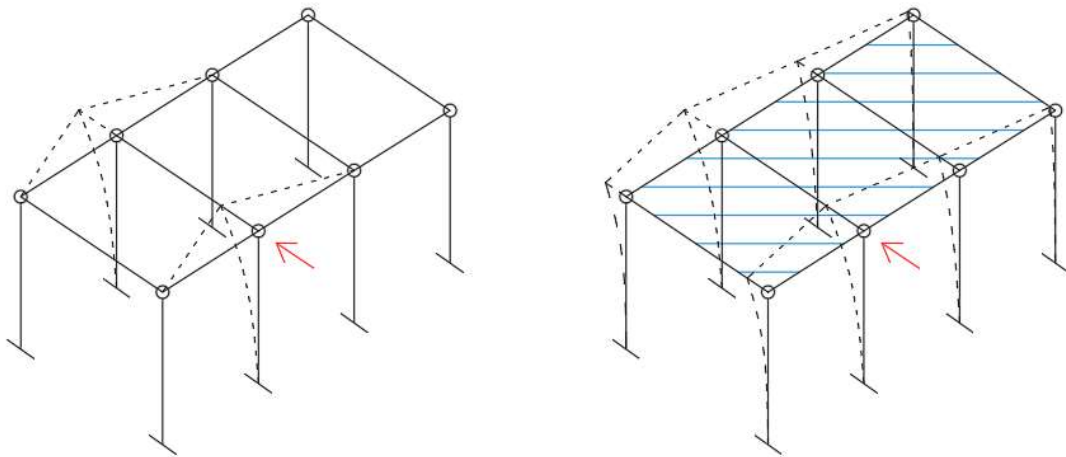
Přetváření konstrukce nám může vadit například při poklesu podpor, kdy používáme tuhý střešní plášť, který může poté začít nevhodně působit a vykazovat deformace.

Statická schémata, kterými posuzujeme jednotlivé zatěžovací stavy a podle kterých dimenzujeme konstrukční prvky mohou být u halových objektů zjednodušeny na jednotlivé „plné“ vazby se zahrnutím zatěžovacích šířek. Každý z těchto úseků (příčný, podélný) lze pak podle typu dané konstrukce vhodně dimenzovat bez nutnosti řešit konstrukci jako celek.

Obecně je vhodné zabývat se v počáteční fázi i napojením kompletačních prvků. Toto napojení poté rozhoduje o nosné, nebo nenosné funkci. Jako příklad lze uvést přenos vodorovného zatížení stěnovými sendvičovými panely ve skeletovém systému haly. Tyto panely přenáší zatížení z plochy do sloupů. Je tedy nutné dostatečně dimenzovat spojení panel – sloup na předpokládána zatížení od větru v dané lokalitě. Dalším typem může být napojení příčky na nosné konstrukce.

## 4.2 Střešní plášť

Při prostorové tuhosti celé konstrukce může být využita konstrukce střešního pláště, pro roznesení vodorovného zatížení do větší části konstrukce než při poddajném působení střešního pláště. Jeden z možných způsobů realizace je použití právě betonových deskových vazníků vzájemně spojených (například svařenými ocelovými deskami). Střecha je poté tuhá v celé své rovině. Výhodou je větší spolupůsobení jednotlivých vazeb, patrné z (obr.65). Spolupůsobení je závislé na tuhosti styků jednotlivých prvků. Styky mohou být svařované případně se zálivkovou výztuží nebo šroubovaným spojem. Svary zároveň poskytují dostatečnou odolnost proti progresivnímu kolapsu, který se může u prefabrikovaných konstrukcí projevit například při seismickém zatížení, nebo výbuchu.



Obr. 72 - Rozdíl mezi netuhým a tuhým střešním pláštěm

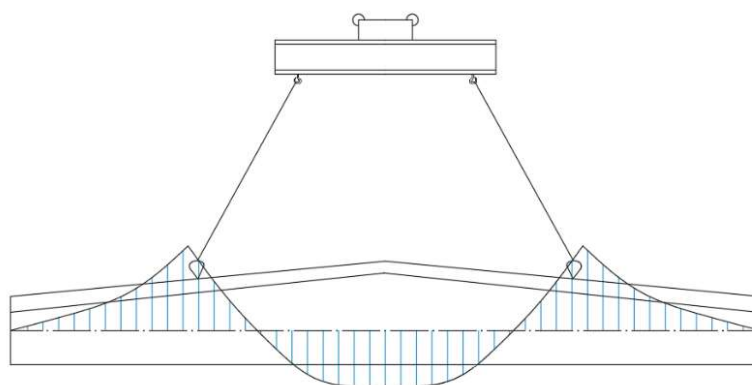
U netuhého střešního pláště již nepůsobí proti vodorovným účinkům tak velká část konstrukce, jako u pláště tuhého. Zároveň roznos zatížení není závislý na tuhosti jednotlivých prvků, ale přenáší se podle zatěžovacích šířek.

## 4.3 Dočasné návrhové situace

U prefabrikovaných prvků je při návrhu důležitou částí řešení jednotlivých fází, kdy se s prvkem manipuluje, až do fáze, kdy se dostane na stavbu a zároveň při konci jeho životnosti. V každé fázi působí jiné zatěžovací stavy a je nutné zohlednit všechny. Zároveň se z části tyto situace uplatní i při posuzování ztrát předpětí – především pro zahrnutí reologických změn. Různé statické softwary, např.[48] umožňují tento průběh ztrát vhodně stanovit a analyzovat podle jejich časově závislé analýzy (TDA modul -

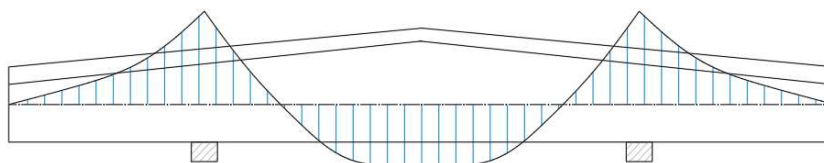
Time dependant analysis). Částečně byl tento proces shrnut i v kapitole o předpínání. U prefabrikovaných prvků se jedná především o následující dočasné návrhové situace:

- 1) Odbednění prefabrikátu - ošetřování a snaha ovlivnit reologické procesy.
- 2) Vnesení předpětí – mění se působení sil, působí vlastní tíha prvku a síla předpětí. Prvek může být porušen tlakovým namáháním.
- 3) Manipulace při skladování a zvedání z formy – jiné statické působení prvku – manipulace pomocí úchytů, nutná dostatečná pevnost betonu z důvodu možnosti vytržení úchytu. Při zvedání formy může také působit adhezní síla mezi betonem a bednicím prvkem. Setrvačné síly od jeřábu.



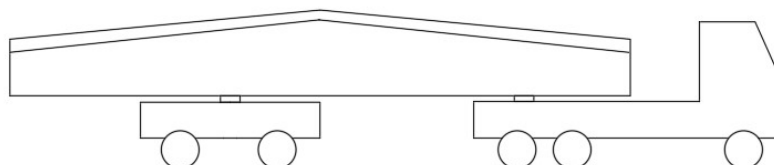
Obr. 73 - Manipulace ve výrobě (vykreslení ohybových momentů od daného zatěžovacího stavu)

- 4) Skladování prvku – podepření prvku na různých místech, případně skladování prvků na sobě.



Obr. 74 - Skladování (vykreslení ohybových momentů od daného zatěžovacího stavu)

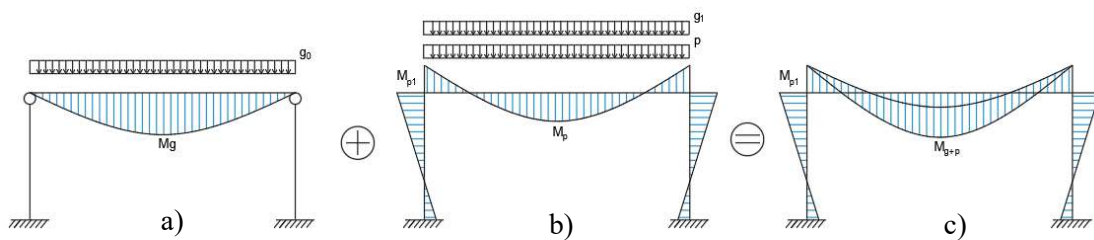
- 5) Manipulace při dopravě – dynamické otřesy a jiné statické působení



Obr. 75 - Doprava prvku

- 6) Manipulace na staveništi – Zvedání jeřábem, dynamické rázy
- 7) Osazení prvku, případně postupná změna působení styků (kloub >> vetknutí), dočasné podepření.
- 8) Konec životnosti prvku

Na (Obr. 76) je ukázán proces postupného zmonolitnění styků a vliv jednotlivých fází na konečné působení ohybových momentů. Osazení a působení vlastní tíhy prvku (Obr. 76a). Postupné zmonolitnění styků při působení provozního zatížení (Obr. 76b). Konečné působení, které zahrnuje oba zatěžovací stavy a poukazuje na určité plastické přetvoření (Obr. 76c).



Obr. 76 - Nárůst momentů v různých fázích zatěžování

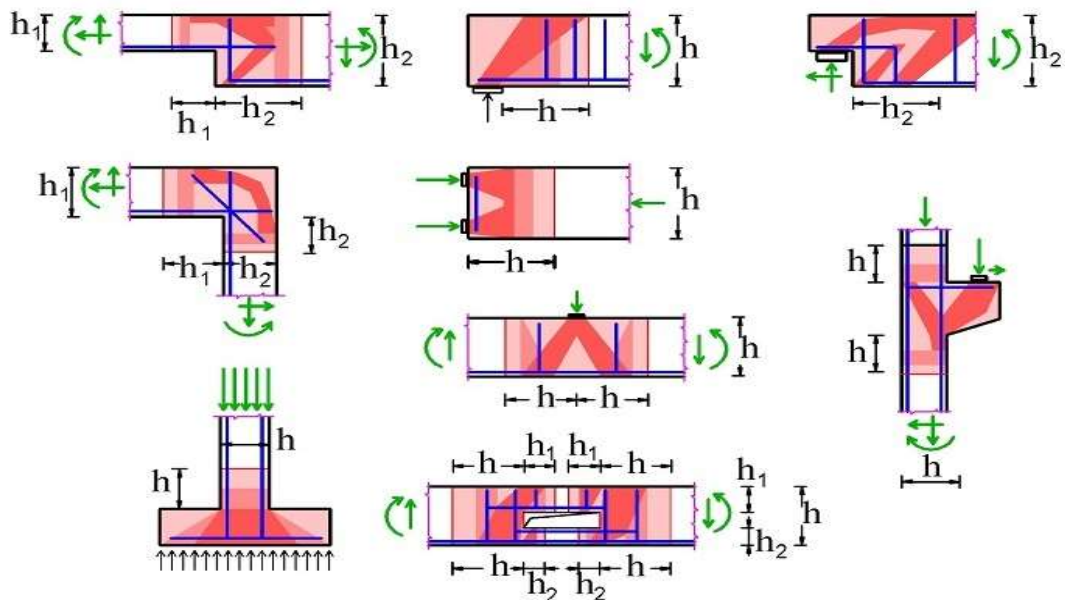
#### 4.4 D-oblasti

Ve většině případů se jednotlivé prvky tvořící konstrukci posuzují jako celek a uvažuje se lineární rozložení poměrného přetvoření. Například při ohybovém namáhání se zachovává rovinnost průřezu k ose prvku i po deformaci. Oblasti na prvku, které tento požadavek splňují se označují jako B-oblasti (u ohybové působení platí Bernoulliho hypotéza). Oblasti, kde se obecně více koncentrují a přelévají napětí, vykazují působení jiné a jsou často místem poruch, se označují jako D-oblasti (oblasti diskontinuit). U halových objektů najdeme některé tyto oblasti, kterým je potřeba věnovat zvýšenou pozornost. Jedná se především o:

- Oblasti v blízkosti podpor prvků
- Styky konstrukčních prvků, rámové styčníky
- Kotevní oblasti dodatečně předpjatých prvků
- Místa náhlých změn průřezu
- Místa v blízkosti otvorů

Tyto oblasti je možné řešit metodou příhradové analogie s použitím softwarů. Metoda spočívá ve vytvoření pomyslné „příhradové konstrukce“ v dané oblasti, kde jednotlivé

pruty (vzpěry, táhla) ideálně reprezentují přenos napětí. U volby a simulace jednotlivého uspořádání příhradové konstrukce neexistují přesná pravidla, je ovšem vhodné použití již osvědčených modelů. Na síly v prutech v závislosti na ploše daného prutu můžeme poté navrhovat výztuž a posuzovat napětí v betonu. Další možností je nelineární analýza betonového prvku.



Obr. 77 - Příklady poruchových D-oblastí [42]

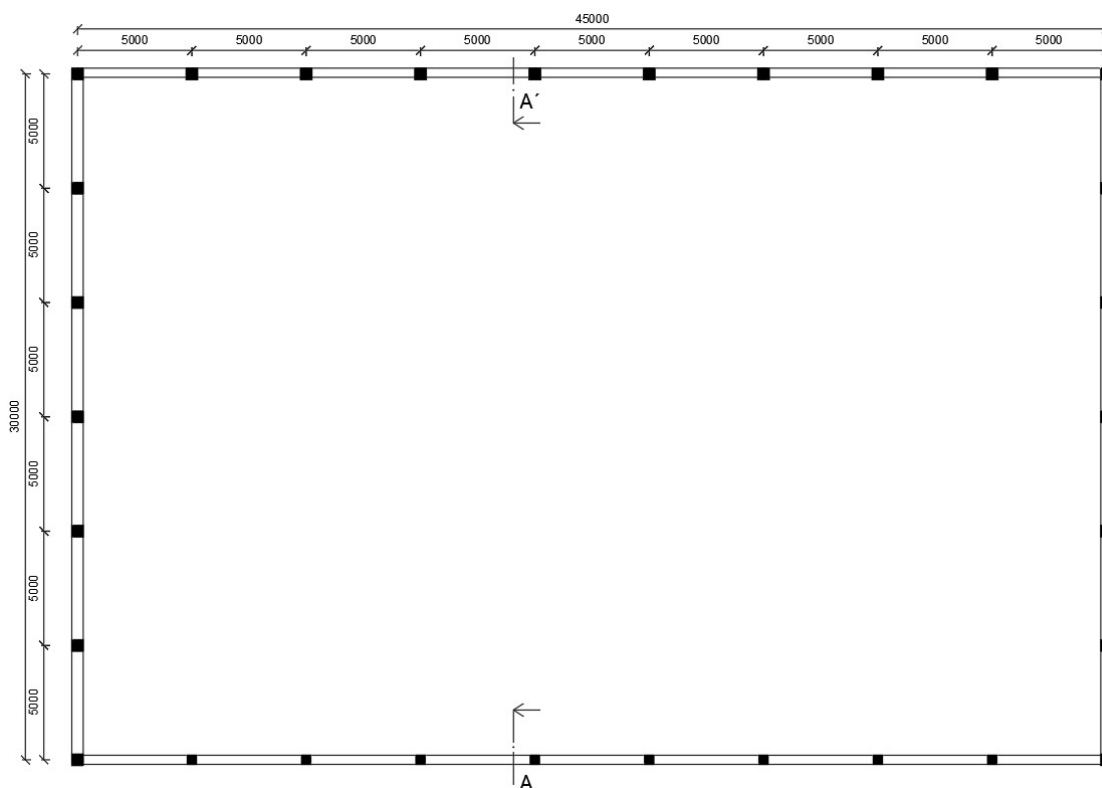


## 5 Konstrukční řešení zastřešení sportovní haly

Tato část se zabývá návrhem zastřešení sportovní haly v Dobrušce. Cílem je navrhnout variantní návrh betonových nosných prvků, které zajišťují zastřešení s návazností na svislé nosné konstrukce. Hala je součástí komplexu sportovní stavby, která slouží místnímu gymnáziu k pořádání sportovních událostí a k výuce tělesné výchovy. Celkové rozměry byly převzaty ze základního koncepčního řešení a částečně vyřešeného projektu pro stavební povolení, které počítalo s ocelovou příhradovou konstrukcí jako nosným prvkem zastřešení. Hala je samostatně založená a oddílatovaná, při výpočtu uvažují tedy samostatný dilatovaný celek, který nepřenáší zatížení z jiných přilehlých konstrukcí.

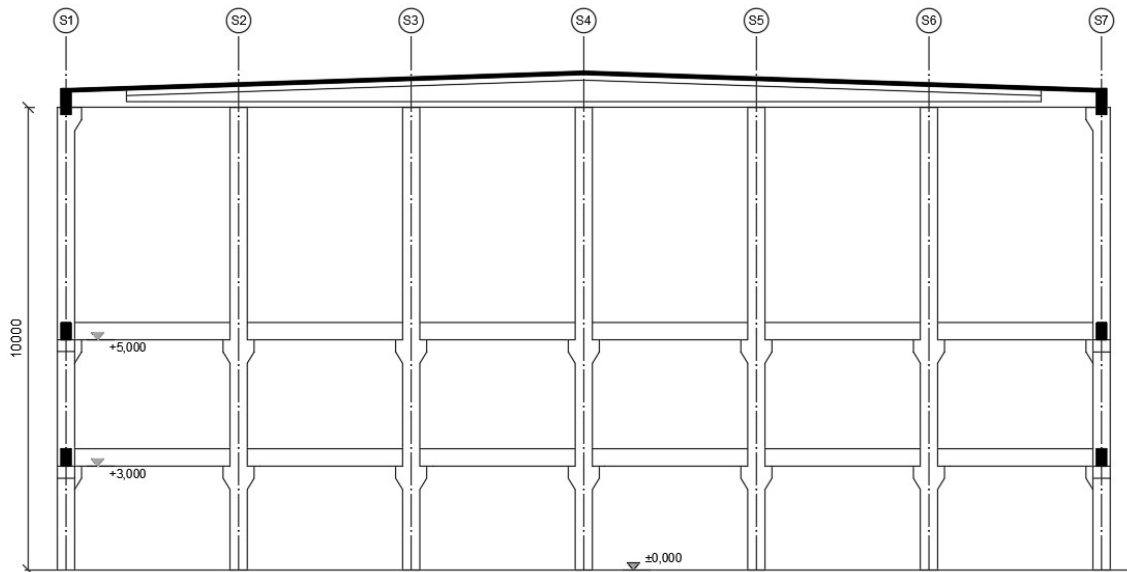
### 5.1 Představení základního konstrukčního systému

Hala má půdorysné rozměry 30 x 45 m s výškou 10 m. Základní konstrukční řešení předpokládá s uspořádáním sloupů pouze po obvodu s osovou vzdáleností 5m. Střešní plášť bude podle typu řešení navržen buď ze sendvičových panelů, nebo jako jednoplášťová plochá střecha s klasickým pořadím hydroizolačního souvrství. Střecha se předpokládá nepochozí pouze s případnou údržbou. Pro návrh střešní konstrukce



Obr. 78 - Schématický půdorys

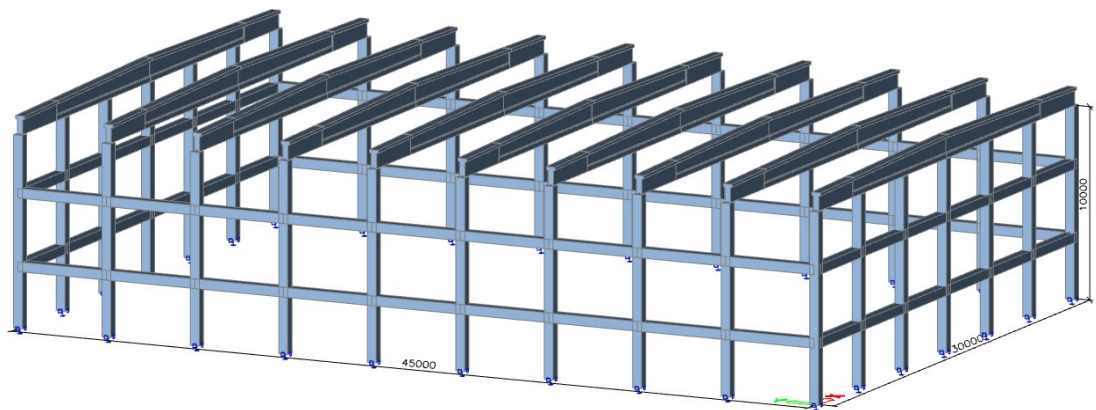
Je zanedbáno zatížení větrem, které by působilo převážně účinkem sání. Jelikož je konstrukce dost hmotná, dopustím se tohoto zanedbání. Při výpočtech svislých konstrukcí se se zatížením větrem uvažuje.



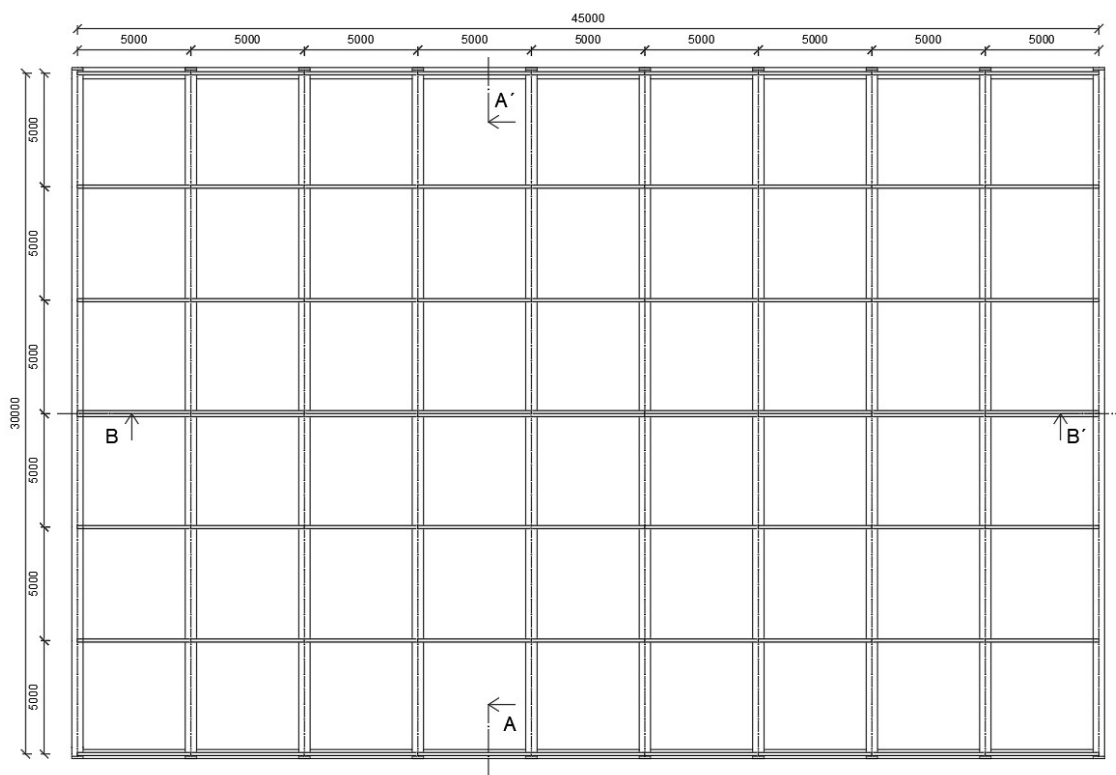
Obr. 79 - Schématický řez

## 5.2 Konstrukční řešení - Vazník s vaznicemi

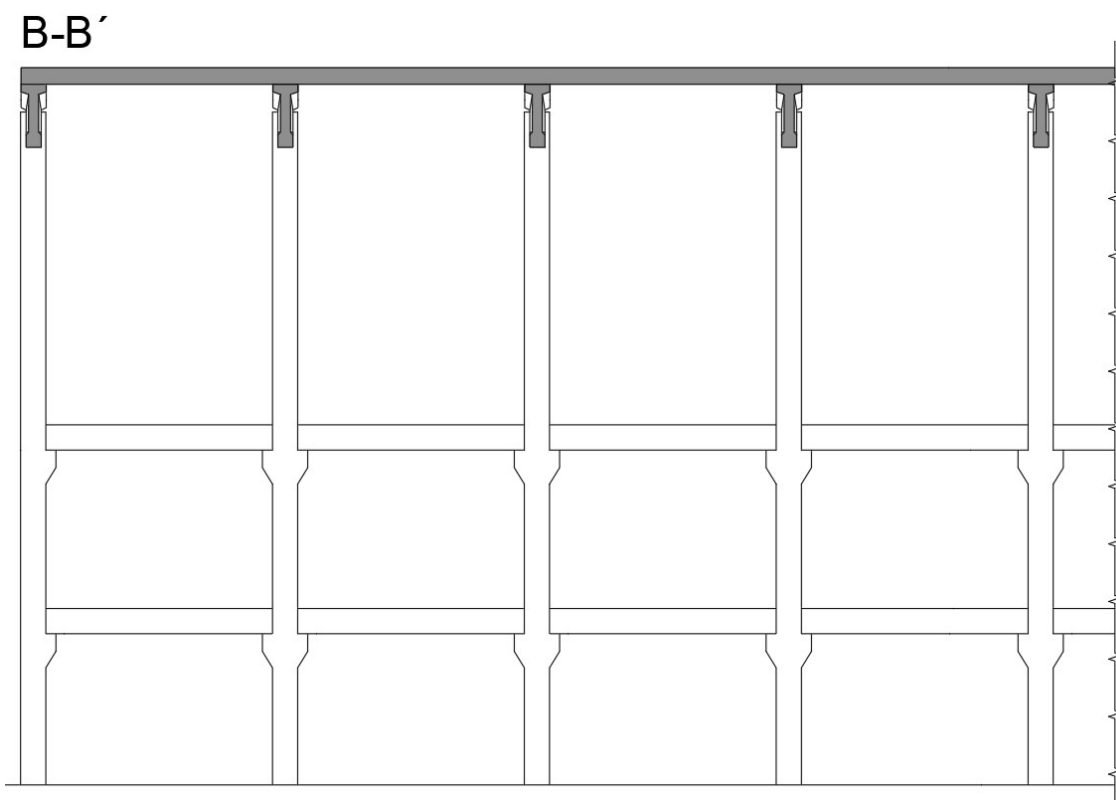
Zastřešení se skládá z hlavních vazníků kladených v příčném směru na sloupy (uložení do kapes). Na vazníky v podélném směru kladeny vaznice, na které jsou upevněny sendvičové panely. (vaznice v modelu nezakresleny - Obr. 80)



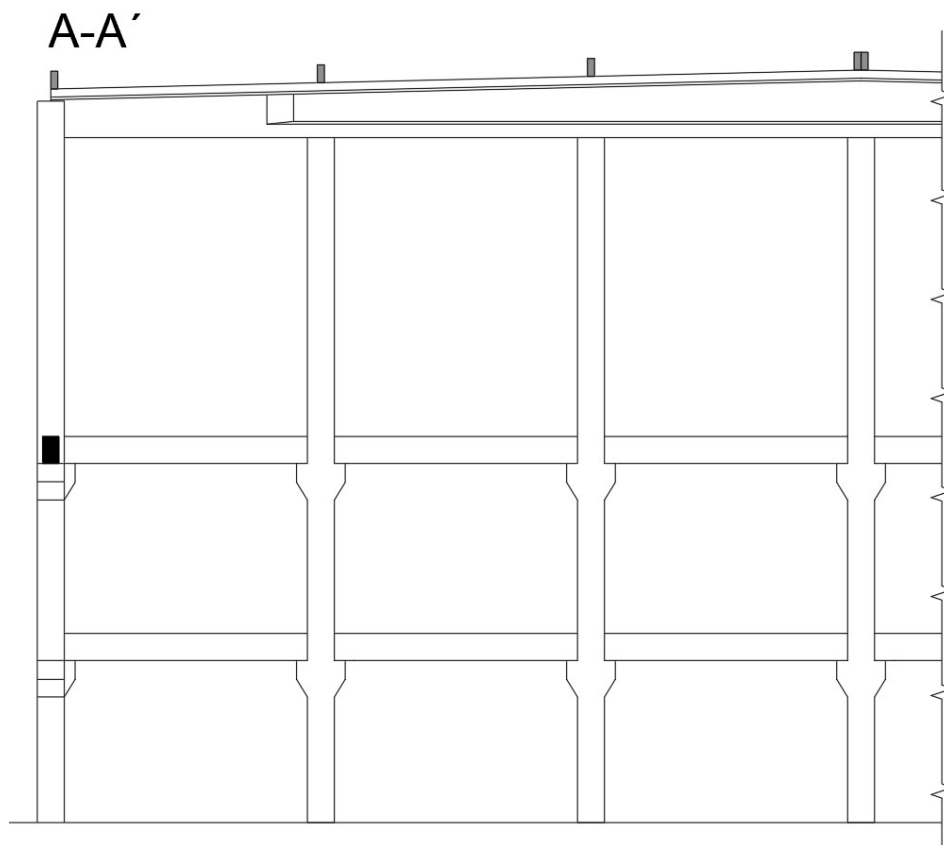
Obr. 80 - Model haly - varianta č.1



Obr. 81 - Schématický půdorys var.1



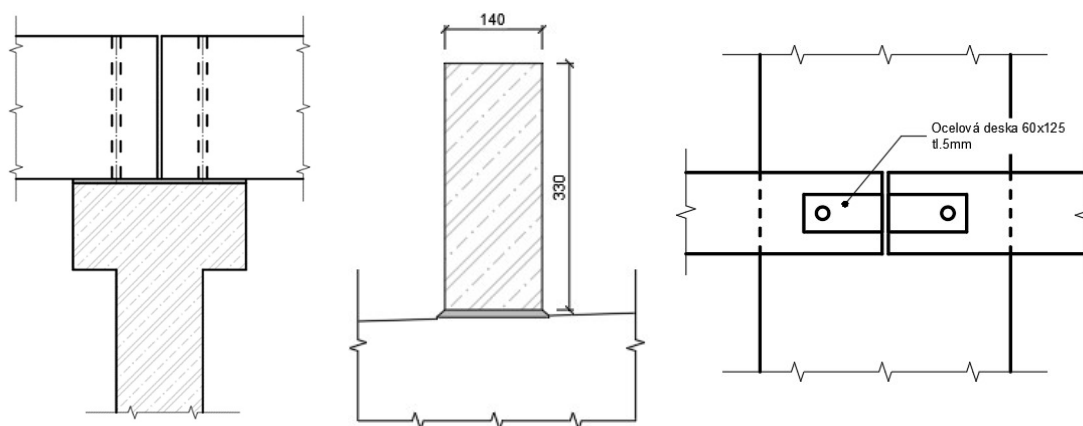
Obr. 82 - Schématický řez B-B' var.1



Obr. 83 - Schématický řez A-A' var.1

### 5.2.1 Vaznice

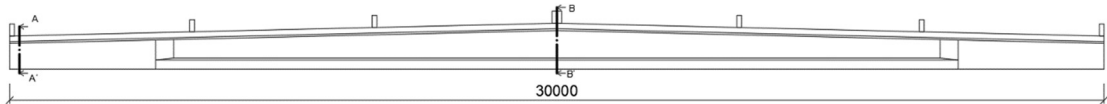
Navrženy jsou železobetonové vaznice obdelníkové průřezu 140 x 330 mm délky 5 m. Vaznice jsou uloženy po 5 metrech. Uložení vaznic je provedeno na vyrovnané plochy sedlového vazníku, do maltového lože + osazení na trn. Z hlediska působení sání větru bude u vaznic vložena ocelová deska pro možnost přivaření trnů a jednotlivých vaznic.



Obr. 84 - Schématické rozvržení vaznic

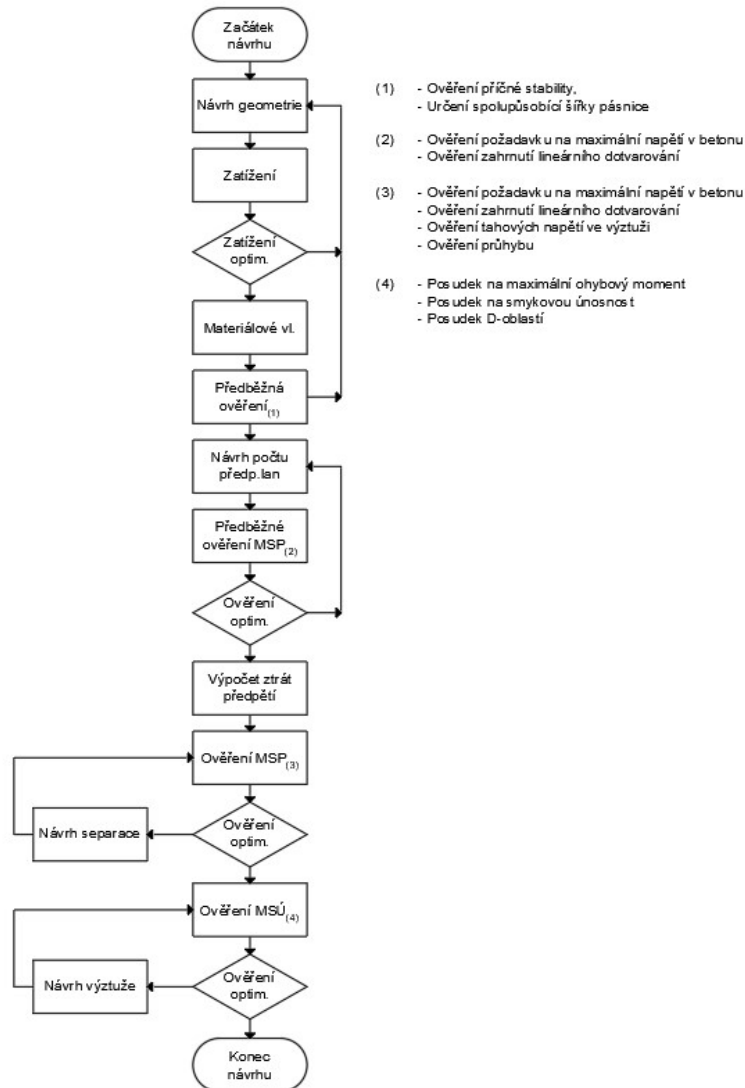
### 5.2.2 Vazník

Jedná se o předem předpjatý nosník s proměnnou výškou (sklon 2%) a s vylehčením začínajícím 4 metry od začátku vazníku. Vazník je uložen v příčném směru po osových vzdálenost 5 m. Uložení je provedeno pomocí kapes ve sloupech na pryžové ložisko a trn. Navrženo je 12 předpínacích lan u dolního povrchu se separací 7 lan do vzdálenosti 4 m.



Obr. 85 - Schéma vazníku

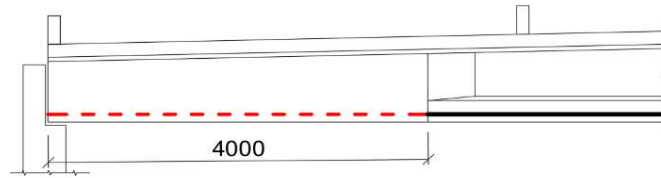
Pro lepší představu o výpočtu je uveden návrhový diagram, podle kterého byl výpočet prováděn.



Obr. 86 - Návrhový diagram

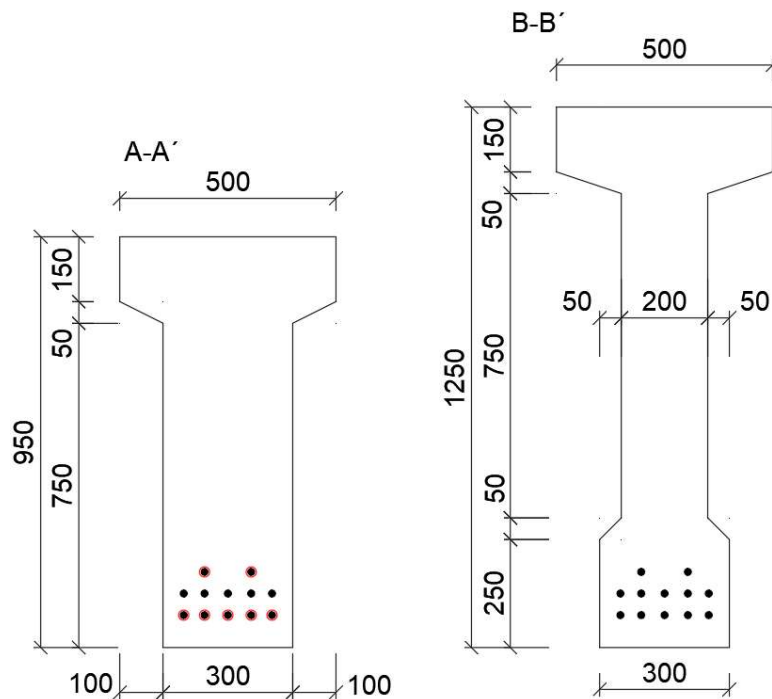
### 5.2.2.1 Separace

Separace bude provedena do vzdálenosti 4 metry na každé straně - kabely protaženy plastovou trubicí. Kabely, které budou separovány jsou patrné z (Obr. 87).



Obr. 87 - Separace pro vazník - variantu č.1

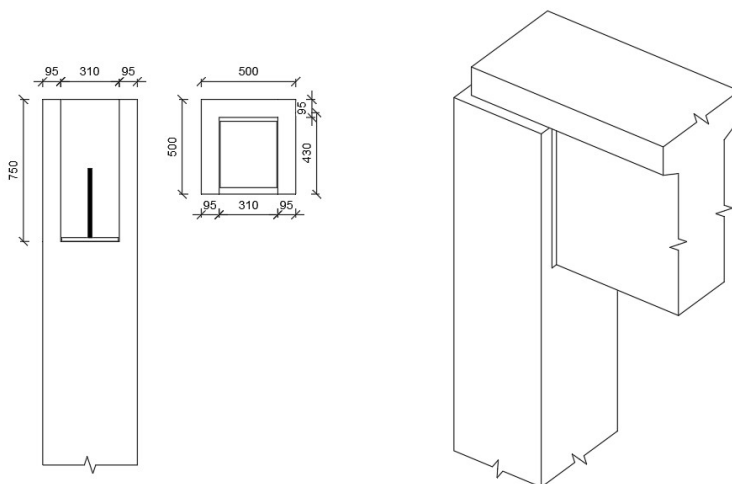
### 5.2.2.2 Uspořádání lan v průřezu



Obr. 88 - Uspořádání lan a geometrie prvku - červeně separace

### 5.2.3 Sloup

Sloup výšky 10 m se zakončenou kapsou (vidlicí) navržen s rozměry 550 x 500. V kapsě vloženo pryžové ložisko 300 x 350 na které bude uložen vazník.

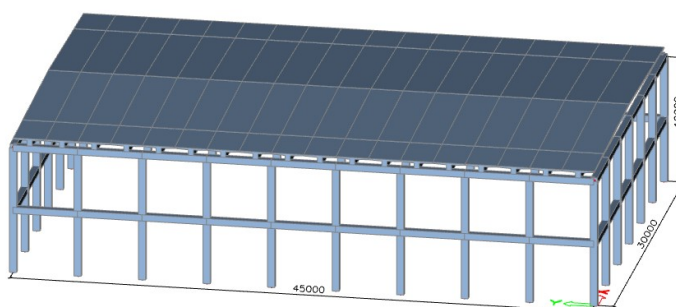


Obr. 89 - Schéma sloupu

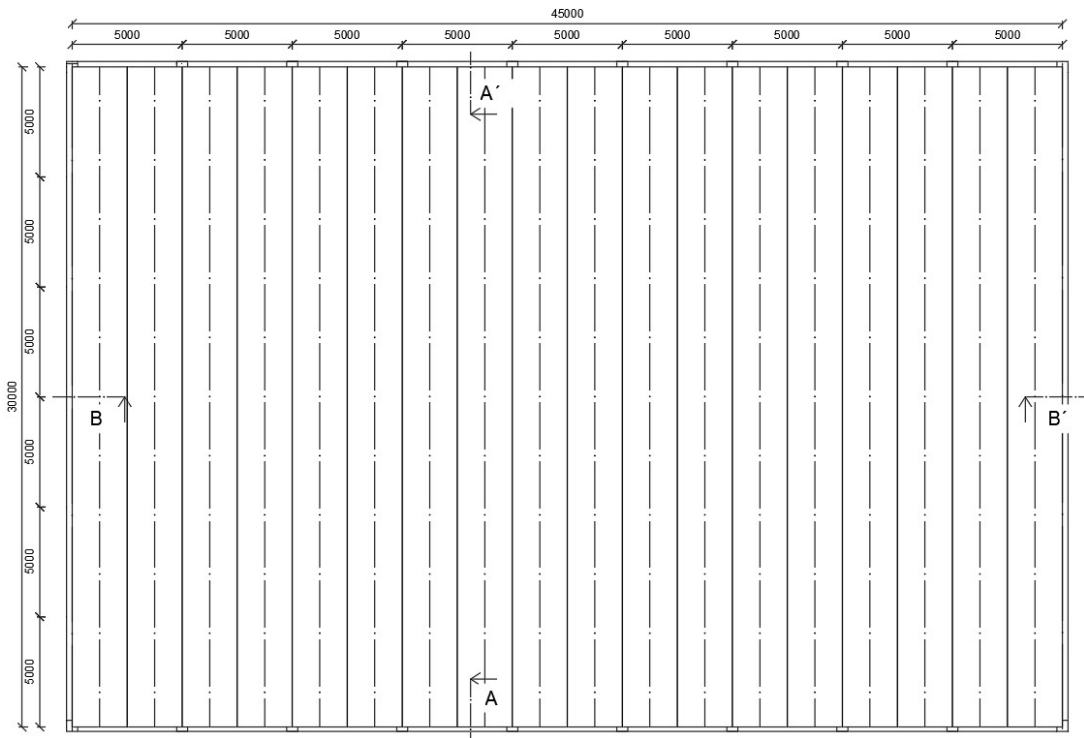
### 5.3 Konstrukční řešení - Deskový vazník

Svislé nosné prvky tvoří obvodové prefabrikované sloupy založené pomocí kalichových patek. Sloupy mají ve dvou úrovních navržené oboustranné konzolky, na které jsou (pomocí trnu a pryžového ložiska) osazeny průvlaky.

Průvlaky v dolní úrovni slouží především jako ztužující, jinak nenosné prvky. Na průvlaky v druhé výškové úrovni (osazeny stejným způsobem) jsou uloženy pomocí pryžových ložisek hlavní vodorovné nosné prvky haly, předem předpínané deskové vazníky. Desku tvoří horní pásnice vazníku. Vazník se navrhuje od určitého průřezu vylehčený a s proměnnou výškou, která zajistí nutný sklon pro odvod vody. Deskové vazníky budou v rovině horní pásnice spojeny mezi sebou pro vytvoření tuhé střešní pláště. Spoje se budou realizovat pomocí ocelových přivařovaných tyčí.

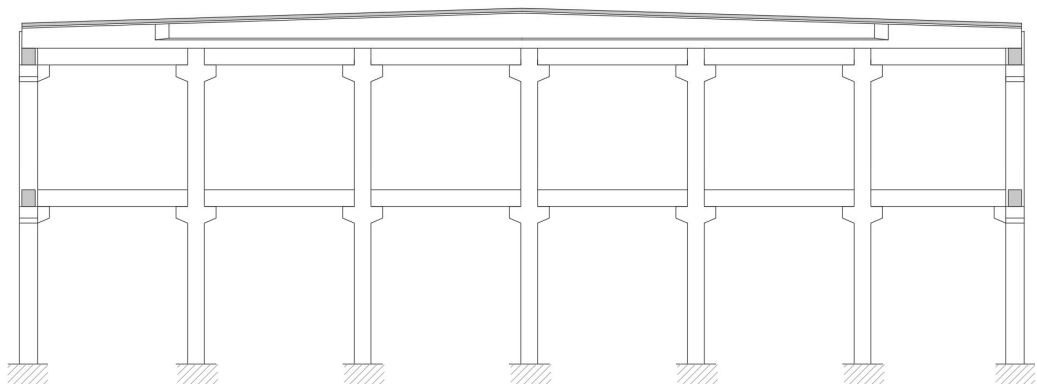


Obr. 90 - Model haly - varianta č.2



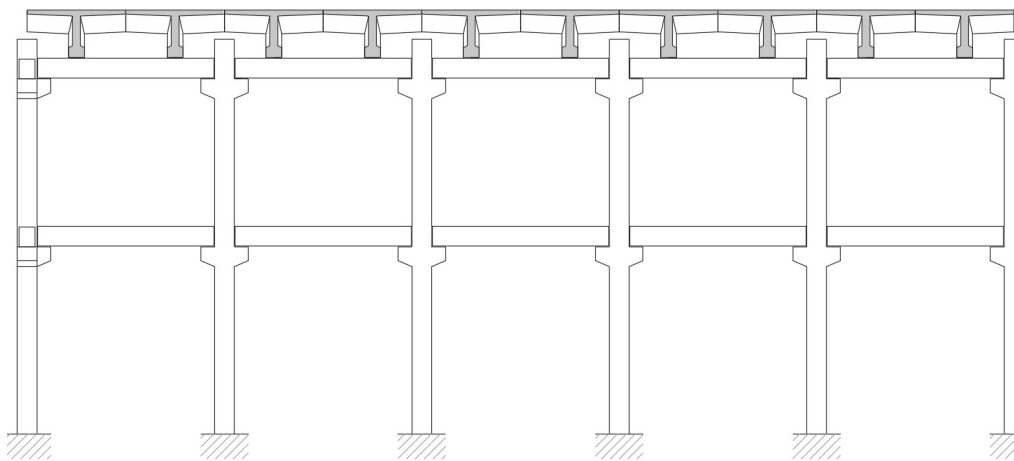
Obr. 91 - Schématický půdorys var.2

A-A'



Obr. 92 - Schématický řez A-A' var.2

B-B'

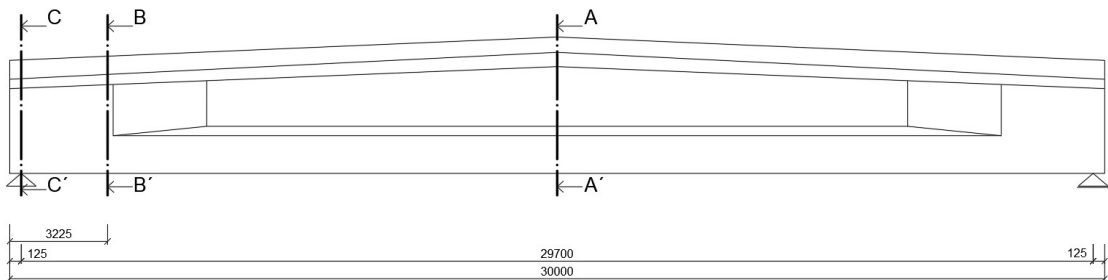


Obr. 93 - Schématický řez B-B' var.2

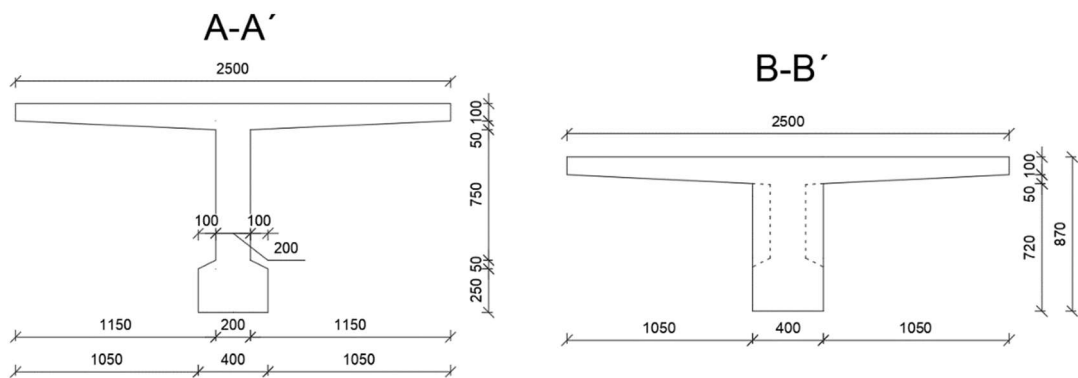


### 5.3.1 Deskový vazník

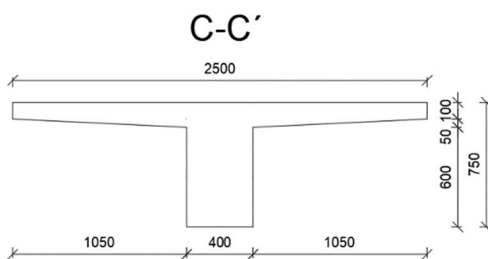
Vazník je uložen v příčném směru po osových vzdálenost 2,5 m. Uložení provedeno usazením na pryžové ložisko, na průvlaky ležící na konzolkách sloupů. Jedná se o předem předpjatý nosník s proměnnou výškou (sklon 2%) a s vylehčením začínajícím 4 metry od začátku vazníku. Navrženo je 12 předpínacích lan u dolního povrchu se separací 2 lan do vzdálenosti 2 m.



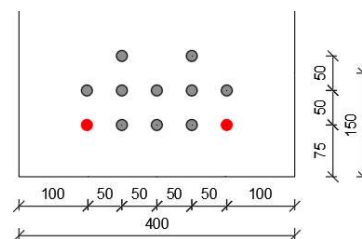
Obr. 94 - Schéma deskového vazníku



Obr. 95 - Schémata řezů



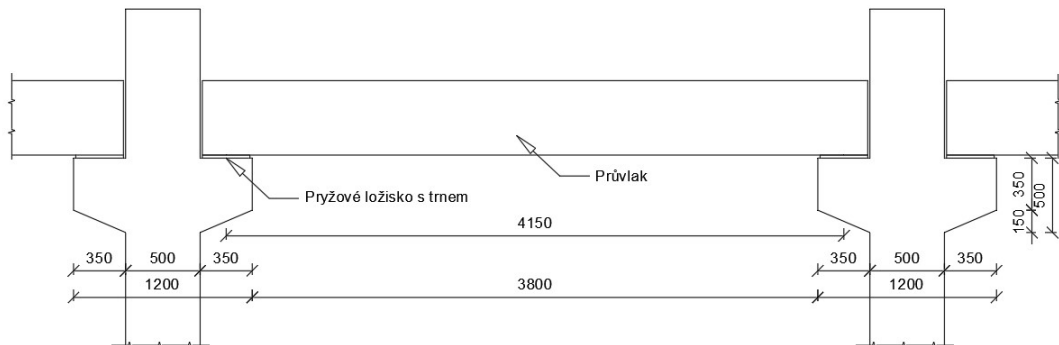
Obr. 96 - Schéma řezu



Obr. 97 - Separace lan

### 5.3.2 Průvlak

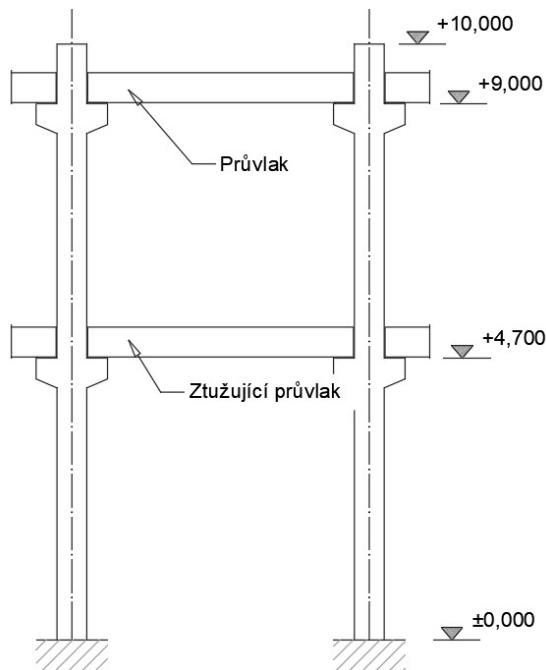
Průvlak navržen 400x500 mm. Uložen na konzolkách jednotlivých sloupů na trn a pryžové ložisko.



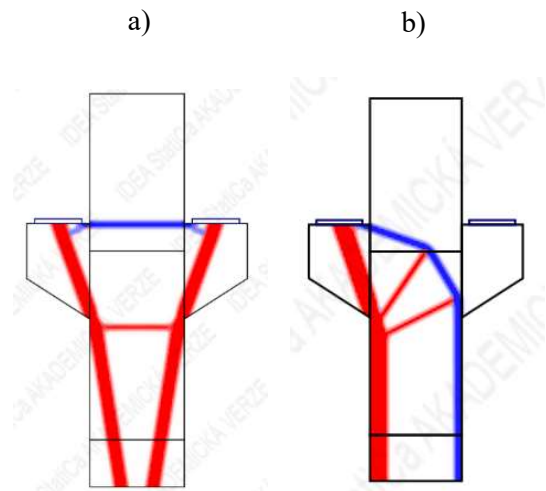
Obr. 98 - Schéma průvlaku

### 5.3.3 Sloup

Sloup navržen s ohledem na štíhlost (výška 10 m) a působení větru. Pomocí [49] byla navržena výztuž do konzol s posouzením dvou zatěžovacích stavů.



Obr. 99 - Schéma sloupů

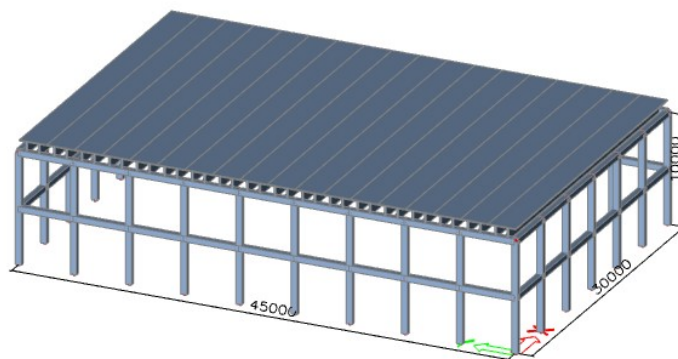


Obr. 100 - Zohlednění stavů a) obě konzolky zatíženy, b) zatížená pouze jedna konzolka - modely příhradové analogie [49]

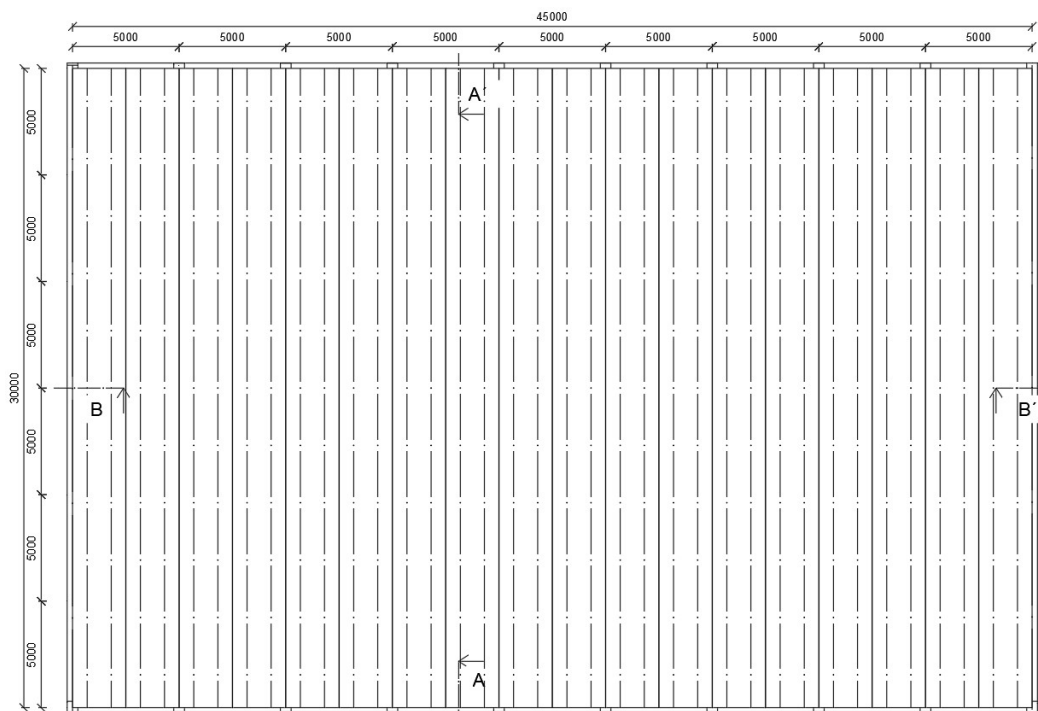
## 5.4 Konstrukční řešení - TT panely

Řešení je velmi podobné deskovému vazníku, svislé nosné prvky tvoří obvodové prefabrikované sloupy založené pomocí kalichových patek. Sloupy mají ve dvou úrovních navržené oboustranné konzolky, na které jsou (pomocí trnu a pryžového ložiska) osazeny průvlaky s ozubem.

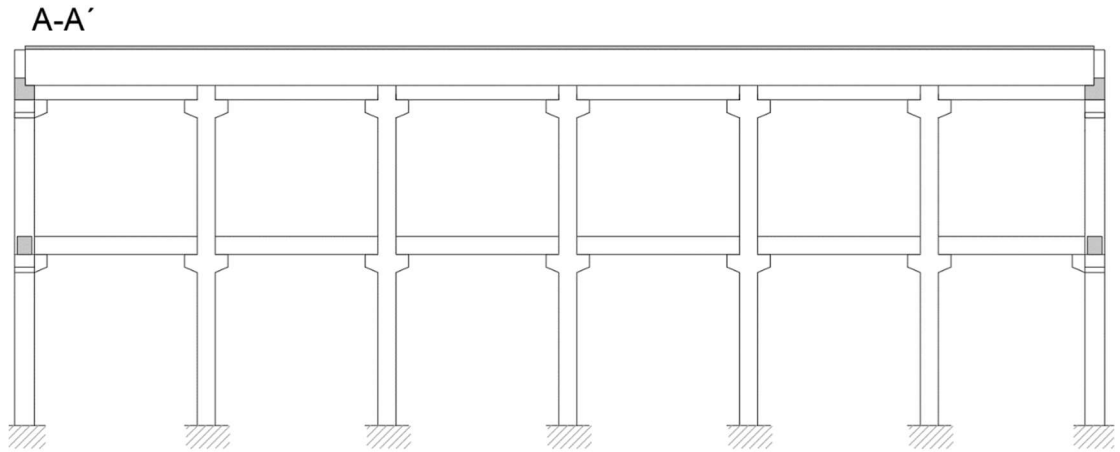
Průvlaky v dolní úrovni slouží především jako ztužující, jinak nenosné prvky. Na ozuby průvlaků v druhé výškové úrovni (osazeny stejným způsobem) jsou uloženy pomocí pryžových ložisek hlavní vodorovné nosné prvky haly, předem předpínané TT panely. Panel je navržen předem-předpjatý, konstantního průřezu. Navrženo je 7 předpínacích lan, do každé stojky panelu.



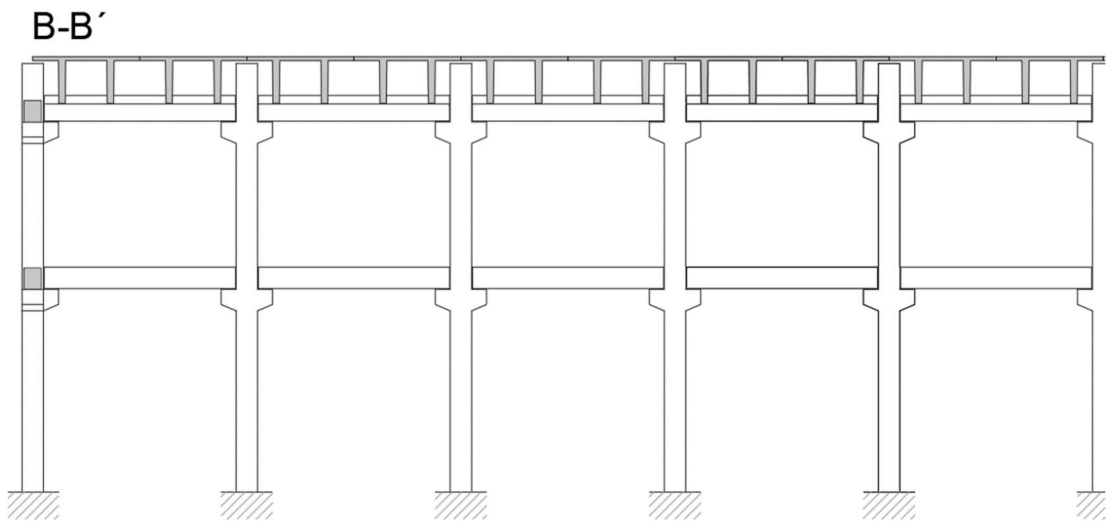
Obr. 101 - Model haly - varianta č.3



Obr. 102 - Schématický půdorys var.3



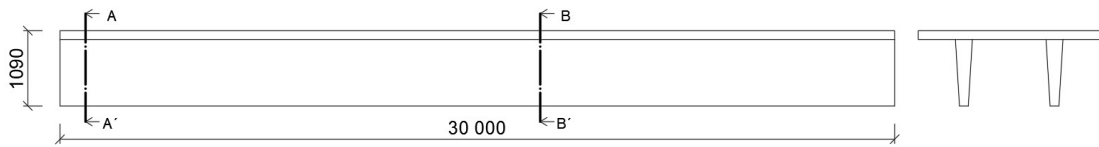
Obr. 103 - Schématický řez A-A' var.3



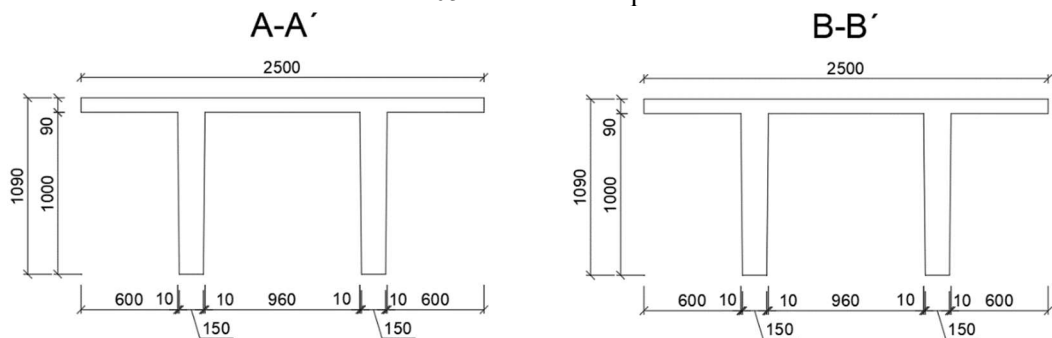
Obr. 104 - Schématický řez B-B' var.3

#### 5.4.1 TT panel

Panel byl navržen s konstantním průřezem, s předpětím bez separace pomocí čtrnácti předpínacích lan.



Obr. 105 - Schéma TT panelu



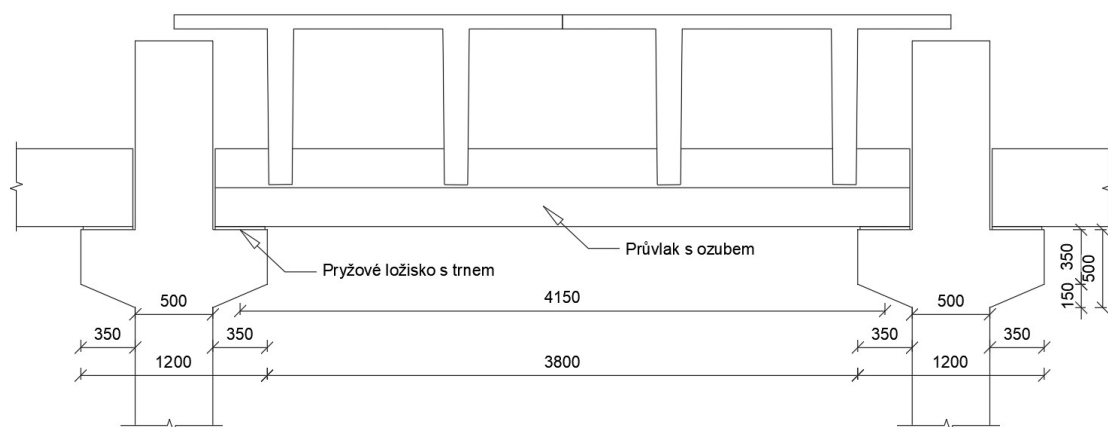
Obr. 106 - Schéma řezů



Obr. 107 - Geometrie předpínacích lan

#### 5.4.2 Průvlak

Průvlak navržen 600x600 mm (ozub 300x400 mm). Uložen na konzolkách jednotlivých sloupů na trn a pryžové ložisko.



Obr. 108 - Schéma průvlaku

## 6 Závěr

Práce se zabývá analýzou sportovních hal, snaží se poukázat, jaké jsou materiálové možnosti jednotlivých konstrukčních typů. U jednotlivých typů se snaží nalézt již vyprojektované provedení, především v betonové variantě, a poukázat na specifika návrhu. Pro konstrukční typ vazníkových soustav prohlubuje problematiku a poukazuje na výhodu předpětí.

Konstrukční část má za cíl návrh tří typů střešní konstrukce menší sportovní haly, které by bylo možné pro vybranou stavbu realizovat. Pro všechny typy návrhů byla záměrně zvolena varianta prefabrikované železobetonové nebo předpjaté konstrukce. Podrobně jsou řešeny především hlavní vodorovné nosné prvky haly s návazností na jejich uložení. Výpočty jsou provedeny pomocí vlastnoručně vyrobených aparátů a pro studenty dostupných statických softwarů. Každý z konstrukčních typů byl navržen s ohledem na často používané průřezové varianty. Je možné vysledovat, že zatížení, a především vlastní tíha jednotlivých prvků se ani v jednom řešení příliš neliší. Pro výraznější snížení vlastní tíhy konstrukce je poté vhodné použít různé softwary, které dokáží tuto optimalizaci zohlednit s dostatečnou přesností. Návazností na vylehčení konstrukce je také návrh počtu předpínacích lan. Všechny výsledné varianty byly navrženy pomocí základních výpočetních metod a užitím vhodného výpočetního softwaru.

V první variantě byla navržena konstrukce z předem předpjatých vazníků I-průřezu s osazením vaznic. Tento konstrukční typ má výhodu především z hlediska dopravy, kde je možné prvky dovézt více naráz. Dalším výhodou je větší odolnost proti sedání, jako u většiny kloubových skeletových hal.

Další varianta, předem předpjaté deskové vazníky s T-průřezem, se snaží nastínit možnost zjednodušené montáže, především skladby střešního pláště s možností použití základních materiálů. Tato varianta není tak častá z důvodu problematickejší dopravy jednotlivých vazníků, především početnějších přejezdů z důvodu geometrie prvku.

Poslední varianta, předpjaté TT-panely, byla volena z důvodu častého používání dané geometrie, především pro sériovou výrobu. Stejně jako u druhé varianty je zde nutný důraz na řešení sedání jednotlivých sloupů. Obě varianty jsou nicméně tužší a schopny více odolávat působení vodorovného zatížení.

Další návazností práce by bylo možné více prohloubit jednotlivé návrhy a podívat se především na možnost vylehčení a úpravu geometrie jednotlivých prvků a hledání optimálnějšího řešení. Docílit menší hmotnosti by znamenalo celkovou úsporu peněz v důsledku použití menšího množství materiálu (betonu, betonářské i předpínací výztuže) i v oblasti použité montážní techniky.

Je možné vysledovat, že se návrh optimálního řešení skládá z několika proměnných a je potřeba najít nejvhodnější cestu. Tuto cestu ovšem projektant nevyhodnocuje sám a hlavní slovo má vždy především investor.

# Seznam použité literatury

## Normy:

- [1] ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- [1.1] ČSN EN 1991 – 1 – 1 Zatížení konstrukcí – Obecná zatížení
- [1.2] ČSN EN 1991 – 1 – 3 Zatížení konstrukcí – zatížení sněhem
- [1.3] ČSN EN 1991 – 1 – 4 Zatížení konstrukcí – zatížení větrem
- [2] ČSN EN 1992 – 1 – 1 Navrhování betonových konstrukcí – obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

## Odborné publikace:

- [3] PROCHÁZKA, Jaroslav et al. *Navrhování betonových konstrukcí podle norem ČSN EN 1992 (Eurokódu 2), Část 2: Předpjatý beton : sborník textů a příkladů ke školení EC2-2*. Praha: ČBS Servis, 2010. s. [1a]. ISBN 978-80-87158-21-0.
- [4] SCHODEK, Daniel L. *Structures*. 7th ed. PEARSON, 2013.
- [5] NAWY, Edward G. *Prestressed concrete; a fundamental approach*. 4th ed. Prentice Hall, 2003. ISBN 0130083917.
- [6] COLLINS, Michael P., Denis MITCHELL. *Prestressed concrete structures*. Prentice Hall, 1991. ISBN 9780136916352.
- [7] HURST, M. K. *Prestressed Concrete Design* [online].2nd;2;. GB: Spon (E&F), 1998. ISBN 9780419218005.
- [8] FOGLAR, Marek et al. *Betonové konstrukce 3: navrhování betonových konstrukcí na MSP, úvod do předpjatého betonu*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 9788001049433.
- [9] HANZLOVÁ, Hana, Jiří ŠMEJKAL a České vysoké učení technické v Praze. Stavební fakulta. *Betonové a zděné konstrukce 1: základy navrhování betonových konstrukcí*. 2. přepracované vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2018. ISBN 9788001065082.
- [10] WITZANY, Jiří a České vysoké učení technické v Praze. Stavební fakulta. *Konstrukce pozemních staveb 70: prefabrikované konstrukční systémy a části staveb*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 9788001026564;.
- [11] NAVRÁTIL, Jaroslav. *Předpjaté betonové konstrukce*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 9788072045617.
- [12] VÍTEK, Jan et al. *Historie předpjatého betonu*. 1. vydání. Praha: ČKAIT, 2016. ISBN 9788087438848;.
- [13] BILL, Zdeněk. *Konstrukce pozemních staveb 50: konstrukčně statická analýza vícepodlažních a halových objektů*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 9788001017548;.
- [14] ZICH, Miloš a Zdeněk BAŽANT. *Montované betonové konstrukce*. Vydání první. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2018. ISBN 9788072049837;.



- [15] EL-MAHDY, Osama O., Mohamed A. ABOUL-NOUR. *Optimal structural design of Prestressed concrete beams in view of ECC 2001* [online]. Scientific bulletin, 2005.
- [16] SAMIR, Peter S. *Precast/Prestressed Concrete Truss-Girder for Roof Applications*. University of Nebraska – Lincoln 2013
- [17] Doc. Ing. Jitka Vašková, CSc. – Betonové konstrukce 2 – Přednášky prefabrikové konstrukce
- [18] Sportovní hala Radotín. In: *Halaradotincz* [online]. Radotínská o.p.s., cit.17.5.2020, Dostupné z: <http://halaradotin.cz>
- [19] Sportovní hala Chodov. In: *Presbarierycz* [online]. Pražská organizace vozíčkářů z.s., cit.17.5.2020, Dostupné z: <http://www.presbariery.cz>
- [20] Precast Prestressed Concrete Truss-Girder for Roof Applications. In: *Hindawicom* [online]. cit.17.5.2020, Article ID 524156 [2014], Dostupné z: <https://www.hindawi.com>
- [21] Sportovní hala Jižní Město. In: *Jihomestskacz* [online], cit.17.5.2020, Dostupné z: <https://www.jihomestska.cz/sportovni-hala-jizni-mesto>
- [22] Dřevěná příhradová konstrukce zastřešení tenisové haly v Turnově. In: *casopisstavebnictvi* [online], cit.17.5.2020, foto: archiv Kasper CZ s.r.o, Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz>
- [23] Dřevěná příhradová konstrukce zastřešení tenisové haly v Turnově. In: *casopisstavebnictvi* [online], cit.17.5.2020, foto: archiv Kasper CZ s.r.o, Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz>
- [24] Výstaviště Praha – ledová plocha. In: *vystavisteprahaeu* [online], cit.17.5.2020, foto: archiv stránek, Dostupné z: <https://www.vystavistepraha.eu>
- [25] Sportovní hala VUT v Brně. In: *casopisstavebnictvi* [online], cit.17.5.2020, foto: archiv autora: doc. Ing. Bohumil Straka, CSc. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz>
- [26] Koncert v pavilonu A. In: *stavbawebcz* [online], cit.17.5.2020, foto: foto stránek. Dostupné z: <https://www.stavbaweb.cz>
- [27] Článek – Beton TSK – Několik centimetrů betonu. In: *betontskcz* [online], cit.17.5.2020, foto: Martin Vonka. Dostupné z: <http://www.betontks.cz> (vydání 2018-3)
- [28] Článek – Beton TSK – Několik centimetrů betonu. In: *betontskcz* [online], cit.17.5.2020, foto: Martin Vonka. Dostupné z: <http://www.betontks.cz> (vydání 2018-3)
- [29] Sportovní hala Děkanka. In: *iscus.cz* [online], cit.17.5.2020, foto: Foto stránky. Dostupné z: <https://iscus.cz>
- [30] Konstrukce z lepeného dřeva. In: *greenpointhome.cz* [online], cit.17.5.2020, foto: Foto stránky. Dostupné z: <http://greenpointhome.cz>

- [31] TENISOVA HALA PSZCZYNA, POLSKO. In: *tenisovepovrchy.cz* [online], cit.17.5.2020, foto: Foto stránky. Dostupné z: <http://www.tenisovepovrchy.cz>
- [32] Aquapark Kohoutovice. In: *aqpark.sportujemevbrne.cz* [online], cit.17.5.2020, foto: Foto stránky. Dostupné z: <https://aqpark.sportujemevbrne.cz>
- [33] Interiér továrny na plechové obaly a plakáty Josef Černý a syn v Novém Meste nad Váhom. In: *earch.cz* [online], cit.17.5.2020, foto: Foto stránky – archiv ČVUT. Dostupné z: <http://www.earch.cz/>
- [34] Konstrukce ze železobetonu a lepeného dřeva. In: *wolfsystem.cz* [online], cit.17.5.2020, foto: Foto stránky. Dostupné z: <https://www.wolfsystem.cz>
- [35] HalaSystem – Systémové řešení hal - ukázky. In: *ksprefa.cz* [online], cit.17.5.2020, foto: Foto stránky. Dostupné z: <https://ksprefa.cz>
- [36] CAB ARCHITECTES, sportovní sál v Ariane. In: *earch.cz* [online], cit.17.5.2020, foto: Aldo Amoretti. Dostupné z: <http://www.earch.cz>
- [37] Roof trusses for industry and commercial building & construction. In: *tecnocom.com* [online], cit.17.5.2020, foto: Foto stránky. Dostupné z: <https://www.tecnocom.com>
- [38] Glover system of precast reinforced concrete construction for large spans, consisting of three-hinged frames connected by concrete purlins. In: *architecture.com* [online], cit.17.5.2020, foto: Foto stránky. Dostupné z: <https://www.architecture.com>
- [39] Swimming pool, Walton-on-Thames, Surrey: the main pool hall. In: *architecture.com* [online], foto: Foto stránky. Dostupné z: <https://www.architecture.com>
- [40] Vigas prefabricadas presforzadas. In: *mexpresa.com* [online], cit.17.5.2020, foto: Foto stránky. Dostupné z: <https://www.mexpresa.com>
- [41] Dodatečné předpínání – typy kotev. In: *vsl.cz* [online], foto: Foto stránky. Dostupné z: <http://www.vsl.cz/dodatecne-predpinani/2-kotvy/>
- [42] Poruchové oblasti. In: *profesis.cz/* [online], cit.17.5.2020, foto: Foto stránky. Dostupné z: <https://www.profesis.cz/>
- [43] Obloukový most před Oparenské údolí. In: *earch.cz/* [online], cit.8.5.2020 Dostupné z: <http://www.earch.cz/cs/obloukovy-most-pres-oparenske-udoli>
- [44] Obloukový most před Oparenské údolí. In: *casopisstavebnictvi.cz/* [online], cit.8.5.2020 Dostupné z: [https://www.casopisstavebnictvi.cz/obloukovy-most-pres-oparenske-udoli-a-komplikace-pred-jeho-dokoncenim\\_N3779](https://www.casopisstavebnictvi.cz/obloukovy-most-pres-oparenske-udoli-a-komplikace-pred-jeho-dokoncenim_N3779)
- [45] Obloukový most před Oparenské údolí. In: *bbsoun.jirismid.cz/* [online], cit.8.5.2020 Dostupné z: <http://bbsoun.jirismid.cz/dostavba-dalnice-d8-most-pres-oparenske-udoli>
- [46] Trojkloubový nosník. In: *VŠB Ostrava - Stav.statika* [online], cit.8.5.2020 Dostupné z: <https://docplayer.cz/39909641-Trojkloubovy-nosnik-rovinne-nosnikove-soustavy.html>

- [47] Vodohospodářské betonové konstrukce. In: *VUT FAST Brno - přednáška Doc. Zich* [online], cit.8.5.2020, Dostupné z: <https://docplayer.cz/111050075-B1-04-vodohospodarske-betonove-konstrukce-monotovane-konstrukce.html>

Programy:

- [48] SCIA Engineer + uživatelský manuál  
[49] IDEA StatiCa 10.1 + uživatelský manuál  
[50] AutoCAD 2018  
[51] Sada MS Office